



Esta obra está bajo una [Licencia
Creative Commons Atribución-
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN -TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



“Evaluación del cloruro férrico y sulfato de aluminio, como coagulantes en el proceso de potabilización, en términos de turbidez y potencial de hidrógeno, de las aguas de la quebrada Rumiycu, distrito de Moyobamba”

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario

AUTOR:

Bach. Erickson Henner Tafur Bardales

ASESOR:

Ing. M.Sc Mirtha Felícita Valverde Vera

Código N° 6050517

Moyobamba – Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN -TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



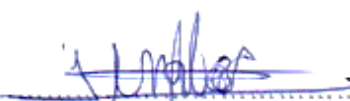
“Evaluación del cloruro férrico y sulfato de aluminio, como coagulantes en el proceso de potabilización, en términos de turbidez y potencial de hidrógeno, de las aguas de la quebrada Rumiycu, distrito de Moyobamba”

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario

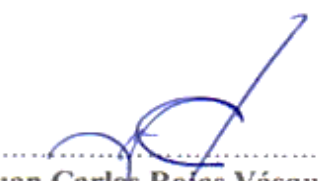
AUTOR:

Bach. Erickson Henner Tafur Bardales

Sustentada y aprobada el día 29 de noviembre del 2017, ante el honorable jurado:


.....
Ing. M. Sc. Yrwin Francisco Azabache Liza
PRESIDENTE


.....
Lic. M. Sc. Roydichan Olano Arévalo
SECRETARIO


.....
Ing. Juan Carlos Rojas Vásquez
MIEMBRO


.....
Ing. M. Sc. Mirtha Felícita Valverde Vera
ASESOR

Declaratoria de Autenticidad

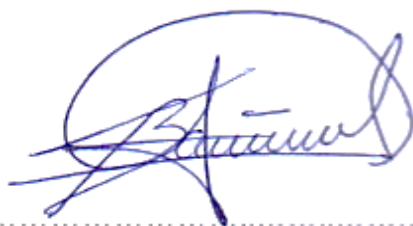
Erickson Henner Tafur Bardales, identificada con DNI N°47401683, bachiller de la Facultad de Ecología, Escuela profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **“Evaluación del cloruro férrico y sulfato de aluminio, como coagulantes en el proceso de potabilización, en términos de turbidez y potencial de hidrógeno, de las aguas de la quebrada Rumiyacu, distrito de Moyobamba”**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.

Tarapoto, 29 de noviembre del 2017.



.....
Bach. Erickson Henner Tafur Bardales
DNI N°47401683

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Tafur Bordaless Erickson Menner		
Código de alumno :	105234	Teléfono:	976396336
Correo electrónico :	ericksontb-21@hotmail.com	DNI:	47401683

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ecología
Escuela Profesional de:	Ingeniería Sanitaria

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	Evaluación del cloruro férrico y sulfato de aluminio, como coagulantes en el proceso de potabilización, en términos de turbidez y potencial de hidrógeno, de las aguas de la quebrada Romigacu, distrito de Moyabamba
Año de publicación:	2017

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia No Exclusiva, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

26 / 10 / 2018



Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM - T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

A mis padres que con su crianza y constante apoyo me han permitido llegar hasta este momento de la vida, que me inculcaron valores y cualidades que hoy por hoy conforman todas mis cualidades; las cuales me acompañaran por siempre y me permitirán crecer como persona y como profesional en mi campo laboral y en formarme como un gran ciudadano para la sociedad, a mis demás familiares cuyas palabras de aliento y apoyo moral han hecho de los días difíciles pasados mucho más ligeros, a todos mis profesores y buenos amigos.

Erickson Henner.

AGRADECIMIENTO

- A mis padres, por darme la vida y confiar en mí, y sobre todo por el apoyo brindado desinteresadamente.
- A mi asesor por su apoyo intelectual en cooperación para la realización de esta investigación.
- A mis amistades, las que no me permitieron caer, pues con su apoyo emocional han mejorado muchas acciones.
- A mis docentes de la UNSM-T, por los conocimientos brindados a lo largo de mi paso por la universidad.

Erickson Henner.

ÍNDICE

DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	6
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
1.1. Antecedentes de la Investigación.....	6
1.2. Bases Teóricas	9
1.2.1. El agua: un recurso vital	9
1.2.2. Características físico-químicas del agua.....	10
1.2.3. Coagulación	11
1.2.4. Floculación	12
1.2.4.1. Coagulantes.....	12
1.2.4.2. Prueba de jarras.....	14
1.2.5. Marco legal	15
1.2.6. Marco geográfico.....	18
1.3. Definición de términos básicos.....	19
CAPITULO II.....	22
MATERIALES Y MÉTODOS	22
2.1. Materiales	22
2.2. Métodos	23
CAPITULO III.....	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
3.1. Parámetros iniciales físicos y químicos del agua de la quebrada Rumiyaçu, del distrito de Moyobamba.	24

3.2. Tiempo y la velocidad óptima de aplicación del sulfato de aluminio y cloruro férico.....	26
3.3. Dosis óptima de cloruro férrico y sulfato de aluminio	29
3.4. Discusión de resultados	40
CONCLUSIONES.....	43
RECOMENDACIONES.....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXOS	49
ANEXO 01: Relieve de la microcuenca Rumiyacu 2005	50
ANEXO 02: Divisorias de aguas y afluentes de la microcuenca Rumiyacu – Mishquiyacu.	51
ANEXO 03: Velocidades y tiempos de los ensayos.....	52
ANEXO 04: Panel Fotográfico.....	53
Fotografía 1: Recolección de muestras de agua de la Quebrada Rumiyacu.	53
Fotografía 2: Rotulado de muestras recolectadas.	53
Fotografía 3: Prueba de jarras con coagulantes sulfato de aluminio y cloruro férrico. .	54
Fotografía 4: Dosificación de coagulantes en la prueba de jarras.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Límites Máximos Permisibles de Calidad Organoléptica.....	16
Tabla 2: Estándares de Calidad Ambiental para Agua- Categoría 1 (ECAS Población y Recreacional, Sub Categoría A. Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.....	17
Tabla 3: Variables y dimensiones – indicadores.....	22
Tabla 4: Parámetros iniciales de la quebrada Rumiyacu, 2017.....	24
Tabla 5: Parámetros iniciales de la quebrada Rumiyacu comparados con los ECAs.....	25
Tabla 6: Turbidez del agua de la quebrada Rumiyacu a diferentes velocidades, tiempos y coagulantes.....	27
Tabla 7: pH del agua de la quebrada Rumiyacu a diferentes velocidades, tiempos y coagulantes.....	28
Tabla 8: Primer ensayo con sulfato de aluminio al 1%.....	30
Tabla 9: Segundo ensayo con sulfato de aluminio al 1%.....	31
Tabla 10: Tercer ensayo con sulfato de alu minio al1%.....	32
Tabla 11: Cuarto ensayo con sulfato de aluminio al 1%.....	33
Tabla 12: Primer ensayo con cloruro férrico al 1%.....	34
Tabla 13: Segundo ensayo con cloruro férrico 1%.....	35
Tabla 14: Tercer ensayo con cloruro férrico al 1%.....	36
Tabla 15: Cuarto ensayo con cloruro férrico al 1%.....	37
Tabla 16: Resultados obtenidos para todos los parámetros con sulfato de aluminio y cloruro férrico.....	38
Tabla 17: Comparación de los resultados óptimos con los Límites Máximos Permisibles.....	39
Tabla 18: Primer ensayo con sulfato de aluminio y cloruro férrico realizado al 1% a los tiempos y velocidades.....	52
Tabla 19: Segundo ensayo con sulfato de aluminio y cloruro férrico realizado al 1% a los tiempos y velocidades.....	52
Tabla 20: Tercer ensayo con sulfato de aluminio realizado y cloruro férrico al 1% a los tiempos y velocidades.....	52
Tabla 21: Cuarto ensayo con sulfato de aluminio y cloruro férrico realizado al 1% a los tiempos y velocidades.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	18
Figura 2: Parámetros iniciales de la quebrada Rumiyacu, 2017.....	24
Figura 3: Parámetros iniciales de la quebrada Rumiyacu comparados con los ECAs.....	26
Figura 4: Turbidez del agua de la quebrada Rumiyacu a diferentes velocidades, tiempos y coagulantes.	27
Figura 5: pH del agua de la quebrada Rumiyacu a diferentes velocidades, tiempos y coagulantes.	29
Figura 6: Primer ensayo con sulfato de aluminio al 1%	30
Figura 7: Segundo ensayo con sulfato de aluminio al 1%	31
Figura 8: Tercer ensayo con sulfato de aluminio al 1%	32
Figura 9: Cuarto ensayo con sulfato de aluminio al 1%	33
Figura 10: Primer ensayo con cloruro férrico al 1%	34
Figura 11: Segundo ensayo con cloruro férrico 1%	35
Figura 12: Tercer ensayo con cloruro férrico al 1%	36
Figura 13: Cuarto ensayo con cloruro férrico al 1%	37
Figura 14: Resultados obtenidos para todos los parámetros con sulfato de aluminio y cloruro férrico.....	38
Figura 15: Comparación de los resultados óptimos con los Límites Máximos Permisibles.....	39

RESUMEN

La presente investigación pretendió comparar el sulfato de aluminio y cloruro férrico para la remoción de turbidez; evaluando como variaría el potencial de hidrogeno, con el propósito de determinar cuál de estos dos coagulantes sería el más óptimo para el proceso de tratamiento. Se obtuvieron los siguientes resultados: Para los meses de mayo y junio del 2017, en las muestras de agua de la quebrada Rumiyacu, la turbidez y pH son variables y más altas en el mes de junio por las lluvias; el tiempo y velocidad óptima encontrada para todos los ensayos realizados con sulfato de aluminio, es de 200 r.p.m. a 1,5 min y para todos los ensayos realizados con cloruro férrico, es de 300 r.p.m. a 1,5 min. La dosis óptima encontrada para las velocidades de sulfato de aluminio al 1% es de 1 mL de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ /500 mL de agua y para las diferentes velocidades de cloruro férrico al 1% es de 6 mL de FeCl_3 /500 mL. Por ello podemos decir que los coagulantes (cloruro férrico y sulfato de aluminio), actúan de distintas maneras para los parámetros de pH y turbidez, siendo el sulfato de aluminio un excelente coagulante ya que como el agua es alcalina este amortigua la variación pH sin provocar acidez y mejorando en casi un 100% la turbidez, llegando a estar acorde a los LMP, así mismo se comprobó la eficiencia como floculante y ayudante al cloruro férrico que es más eficiente en el color del agua.

Palabras clave: Coagulación [Tratamiento del agua], floculación, potabilización del agua, cloruro férrico, sulfato de aluminio, turbiedad del agua.

ABSTRACT

The following investigation tried to compare the aluminum sulfate and ferric chloride for the removal of turbidity; evaluating how the hydrogen potential would vary, in order to determine which of these two coagulants would be the most optimal for the treatment process. The following results were obtained: For the months of May and June 2017, in the water samples from the Rumiyacu stream, the turbidity and pH are variable and higher in the month of June due to the rains; The optimum time and speed found for all tests carried out with aluminum sulphate is 200 r.p.m. at 1.5 min and for all tests carried out with ferric chloride, it is 300 r.p.m. at 1.5 min. The optimum dose found for the 1% aluminum sulphate speeds is 1 mL of $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ / 500 mL of water and for the different rates of 1% ferric chloride is 6 mL of FeCl_3 / 500 mL. Therefore we can say that the coagulants (ferric chloride and aluminum sulfate), act in different ways for the parameters of pH and turbidity, aluminum sulfate being an excellent coagulant because as water is alkaline this buffer pH variation without causing acidity and improving the turbidity by almost 100%, getting to be in compliance with the LMP, likewise the efficiency was verified as a flocculant and assistant to the ferric chloride that is more efficient in the color of the water.

Keywords: Coagulation [Water treatment], flocculation, water purification, ferric chloride, aluminum sulphate, water turbidity.



INTRODUCCIÓN

El Perú ha constituido un país en vías de desarrollo que desea cumplir con la satisfacción básica primordial de toda su población, en este caso hablando en términos de calidad del agua, la que aún no se ha alcanzado; se ha deseado por muchos años innovar las alternativas para la potabilización de este recurso indispensable para vivir. Pues, aunque en muchas de las plantas de tratamiento se priorice la utilización de agentes químicos como coagulantes es necesario detallar la importancia de la adecuada dosificación y condiciones óptimas a las que estas se deben someter, pues por ser de naturaleza química, con el tiempo si no controlamos los parámetros necesarios para su inocuidad podríamos estar haciéndonos daño crónico a la salud.

El agua es uno de los bienes más importantes y escasos que tienen las personas alrededor del mundo, nuestro país no es una excepción; muchas de nuestras poblaciones se ven obligados a beber de fuentes cuya calidad deja mucho que desear y produce un sin fin de enfermedades a niños y adultos. (MINAN, 2010).

Muchas de las personas toman agua no tratada, y aunque algunas gozan de agua potable, estas no se encuentran totalmente libre de contaminación; en ocasiones pueden ocurrir problemas con dosificación de los agentes químicos más usados (sulfato de aluminio y cloruro férrico), pues las condiciones climáticas variables en la ciudad de Moyobamba, provocan variaciones en los parámetros iniciales del agua, que en una temporada podría haber estabilidad y una cantidad de compuesto- coagulante a utilizar; pero que como luego una época de lluvia estos parámetros se dispararon y la turbidez podría alcanzar valores inesperados, en donde la dosificación, debido a las grandes diferencias de los parámetros del agua que ingresa, se vuelve ineficiente y se deben tomar otras medidas para mitigar el problema; es por ello que una planta está en constante vigilancia, de esa manera evitar problemas con la salida de agua, siendo la idea principal que el buen manejo de los coagulantes sean los que den efectividad a mejorar las condiciones del agua que será llevada a todos los hogares.

Es por ello que en este trabajo de investigación se tratara de evaluar en términos de pH y turbidez a la quebrada Rumiyacu, la coagulación con dos tipos de coagulantes.

A nivel mundial el agua es muy escasa para los millones de personas que carecen de acceso al agua potable y otros millones de personas que no tienen acceso a un saneamiento adecuado. Más de 2.200 millones de habitantes de los países subdesarrollados, la mayoría niños, mueren todos los años de enfermedades asociadas con la falta de agua potable, saneamiento adecuado e higiene. **(Girón, 2004)** Además, casi la mitad de los habitantes de los países en desarrollo sufren enfermedades provocadas, directa o indirectamente, por el consumo de agua contaminada; con suministros suficientes de agua potable y saneamiento adecuado, la incidencia de algunas enfermedades y la muerte podrían reducirse hasta un 75 por ciento. **(MINAM, 2015)**. En la mayoría de los países, el problema no es la falta de agua dulce potable sino, más bien, la mala gestión y distribución de los recursos hídricos y sus métodos.

En la provincia de Moyobamba generalmente existen muchos centros poblados que consumen agua con poco o ningún tratamiento, ya que no cuenta con infraestructura necesaria, a esto se suma las dificultades económicas para gestionar mantener un sistema de tratamiento en funcionamiento, debido al costo elevado de los productos para el adecuado tratamiento y la difícil accesibilidad, etc. Además, no cuentan con personal calificado para realizar el tratamiento de manera adecuada. **(EPS-Moyobamba 2005)**.

En la ciudad de Moyobamba, una de las principales fuentes de abastecimiento es las aguas de la quebrada Rumiyacu, presenta elevada turbidez, las cuales sobrepasan los valores establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental **(ECA)**; siendo la turbidez una característica del agua debida a la presencia de partículas suspendidas cuyo tamaño varía desde suspensiones gruesas hasta coloides, lo cual constituye un problema ambiental. **(EPS Moyobamba 2005)**.

La quebrada Rumiyacu, se encuentra ubicada en la margen derecha del río Mayo, jurisdicción del distrito de Moyobamba, provincia de Moyobamba, departamento de San Martín. Las microcuencas pertenecen a la cuenca del río Mayo margen derecha, que por sus características propias fue una zona rica en recursos naturales y que en la actualidad dichos recursos se ven escasos, debido al asentamiento de pobladores en las cabeceras de las fuentes de aguas, que tienden a talar los bosques para convertirlos principalmente en chacras con plantaciones de café y terrenos para pastos según su criterio empírico. Pero lo que se vislumbra de continuar este proceso es la pérdida total de la biodiversidad biológica, erosión, desertificación, empobrecimiento de los suelos, disminución y contaminación del

recurso hídrico y la degradación del medio ambiente en detrimento de la población. **(EPS Moyobamba, 2004).**

Las poblaciones que se asentaron en la parte alta de la cuenca (microcuenca Rumiyacu) comenzaron a talar el bosque con la finalidad de utilizar la tierra para la siembra del café (actualmente el principal cultivo de la zona). Como el suelo quedó desprotegido de la vegetación y constantemente está sometido a las lluvias, los torrentes arrastran las partículas del suelo hacia arroyos y ríos. El suelo, desprovisto de la capa superficial, pierde la materia orgánica (humus) y entra en un proceso de deterioro que puede originar hasta un desierto. A este proceso se le llama erosión del suelo, y las consecuencias son que en suelos erosionados ya no se puede volver a sembrar por la pérdida de la materia orgánica, otra consecuencia es la disminución del caudal del río ya que la presencia de plantas y las primeras capas del suelo son imprescindibles para que el agua de las precipitaciones no se infiltre y se recarguen los acuíferos, por tanto, un aumento en la erosión significa una disminución del agua. **(EPS-Moyobamba, GTZ, Proyecto Especial Alto Mayo, 2006)**

Otro problema es la contaminación por las aguas residuales del lavado del café y por la utilización de insecticidas que los restos al llover son arrastrados hasta el río Mayo llegando a la parte baja de la cuenca contaminada. **(Azabache, 2008).** El abastecimiento del servicio de agua potable en la región San Martín como en la provincia de Moyobamba, es mucho más grave de lo que se podría pensar, el agua que incluso se está consumiendo en la propia ciudad no es apta para el consumo humano, puesto que la determinación de cloro residual en las redes de distribución en la ciudad no llega a todas las zonas, y la turbidez en algunos sectores es mas de elevado, debido a que algunas tuberías de asbesto están deterioradas y rotas, atentando así con la salud de la población.

Para ello es necesario brindar un buen tratamiento al agua, así como buscar soluciones innovadoras para el mejorar el servicio que brindamos a la población. Conociendo los problemas que causan la contaminación de los cuerpos de agua de la quebrada Rumiyacu, y además de conocer que es una de las principales fuentes de abastecimiento de la localidad de Moyobamba.

Por todo lo expuesto nos preguntamos:

¿El tratamiento de las aguas de la quebrada Rumiyacu utilizando cloruro férrico será más óptimo en comparación con sulfato de aluminio, como coagulantes en el proceso de potabilización, en términos de Turbidez y pH en el distrito de Moyobamba?

Cuyo objetivo general vendría a ser: Evaluar al cloruro férrico y sulfato de aluminio, como coagulantes en el proceso de potabilización, en términos de turbidez y potencial de hidrogeno, de las aguas de la quebrada Rumiyacu, del Distrito de Moyobamba.

Entre los objetivos específicos están: Determinar los parámetros iniciales físicos y químicos (turbidez, potencial de hidrogeno, color, sólidos totales disueltos, alcalinidad y oxígeno disuelto), del agua de la quebrada Rumiyacu, del distrito de Moyobamba; Determinar el tiempo y la velocidad óptima de aplicación del sulfato de aluminio y cloruro férrico en el equipo de prueba de jarras, y su influencia en la turbidez y pH; para finalmente determinar la dosis óptima de cloruro férrico y sulfato de aluminio, para el tratamiento de las aguas de la quebrada Rumiyacu, distrito de Moyobamba.

En la actualidad, el agua es uno de los recursos no renovables más importantes para el uso y beneficio de las especies existentes en el planeta Tierra, para que el agua sea apta para el consumo humano debe seguir un proceso adecuado el mismo que debe ser controlado de inicio a fin con la debida inspección de los parámetros que cumplan con la normativa de nuestro país.

La calidad del agua repercute de gran manera en la calidad sanitaria del agua que se distribuye a una población y esta a su vez repercute de manera significativa en la salud de las personas.

Desde muchos puntos de vista, el agua es considerada no solo un factor esencial para el desarrollo global de las naciones, sino también es calificado como el recurso en función del cual, se establecen los límites de ese desarrollo de las naciones. La turbidez en el agua fue la razón de los primeros tratamientos del agua para el consumo, porque muchas fuentes naturales contenían partículas que eran de aspecto y sabor cuestionables.

El agua potable en el Perú no llega ni al uno por ciento de la población rural. Por lo mismo, resulta imperativo desarrollar un esfuerzo no solo integral, sino específico que pueda abordar los desafíos propios del agua y el saneamiento en el ámbito rural. La solución al desabastecimiento rural se ha concentrado de modo exclusivo en la construcción de

infraestructura física y/o se han basado en modelos tecnológicos no necesariamente apropiados para las áreas rurales, siendo crucial la inversión en infraestructura física para el saneamiento, necesita ir acompañada de acciones que garanticen su sostenibilidad. **(Plan de Mediano Plazo 2013 – 2016).**

En la amazonia peruana, la fuente de agua superficial, representa el elemento vital para promover el desarrollo sostenible de los centros poblados, más aún cuando estas lo utilizan para los distintos usos, entre los de mayor importancia están los de abastecimiento para uso poblacional, agrícola y pecuario. En Perú, muchas zonas rurales consumen agua entubada desde los ríos, quebradas o cualquier fuente que pueda satisfacer sus necesidades. Además, no realizan ningún tratamiento. Dentro de los cuales el parámetro a analizar por lo general sobrepasa los límites máximos permisibles; privándose de consumir un agua de buena calidad. **(Casas, 2008).**

La quebrada Rumiyacu, es una de las principales fuentes de abastecimiento de agua de la ciudad de Moyobamba, sin embargo, es una de las fuentes con más alta presencia de turbidez, que provoca la dispersión y absorción de la luz, dando una apariencia turbia, estéticamente indeseable y potencialmente peligrosa. La presente investigación pretende comparar el sulfato de aluminio y cloruro férrico para la remoción de turbidez; evaluando como variaría el potencial de hidrogeno, con el propósito de determinar cuál de estos dos coagulantes sería el más óptimo para el proceso de tratamiento, de esta manera se contribuirá con la empresa prestadora de servicios y a la población de la ciudad de Moyobamba.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de la Investigación

A. Internacionales

(MURILLO, 2011), en su trabajo de investigación concluyó que los valores de pH obtenidos de los ensayos con Sulfato de Aluminio Líquido (SAL) confirmaron la tendencia de este producto a ocasionar un descenso brusco de éste; por ello fue necesario realizar los ensayos con agua previamente encalada y así evitar que el pH final del agua tratada estuviera por debajo de la norma.

(RESTREPO 2009), en su trabajo concluye que, de acuerdo con lo observado en otras plantas de potabilización, el Sulfato de Aluminio líquido Tipo B es una muy buena opción siempre y cuando el agua tenga una alcalinidad apropiada. Actualmente, en la operación de coagulación se realiza la dosificación en el punto adecuado y proporcionando la turbulencia necesaria para una buena mezcla; sin embargo, la cantidad de coagulante dosificado no es adecuada, ya que es elegida empíricamente. También nos indica que no siempre es necesario la implementación de mínimo tres (3) cámaras en el floculador, como lo plantean algunos autores, pudiendo ser menor cuando el intervalo de gradiente óptimo de operación es muy estrecho. El proceso de Coagulación-Floculación presenta un muy buen desempeño con el coagulante utilizado actualmente, aunque se requiere de una evaluación económica para estudiar el posible cambio a otro tipo de coagulante.

(TRUJILLO 2013), nos recomienda usar sulfato de aluminio líquido para la remoción de turbiedad de una fuente natural de agua mediante coagulación/floculación, en lugar de granulado. Nos sugieren que este es efectivo como floculante, Además, nos manifiesta que el uso de coagulantes vegetales como complemento de las tecnologías para tratamiento de agua que va a ser

sometida a potabilización, representa una oportunidad de investigación e innovación.

(GUADALUPE 2012), en su trabajo de investigación manifiesta que la remoción de enteroparásitos en la fuente de agua analizada para los tres coagulantes utilizados, fue semejante cuando se utilizó coagulación convencional. Aun así se considera que sulfato de aluminio es el más apto para este fin, por cumplir con la normativa y ser económicamente más conveniente. Se debe tener en cuenta que este coagulante se utiliza en la mayoría de las plantas de tratamiento de nuestro país. La aplicación de pruebas estadísticas a los resultados experimentales, revelaron que a pH 5,7 se logró la mayor reducción de materia orgánica natural para sulfato de aluminio (91 %). Para cloruro férrico la máxima eficiencia se obtuvo a pH 4,8 (86 %).

(GONZALES 2015), concluye que el uso de agentes químicos como el sulfato de aluminio y hierro permite remover de manera significativa las partículas suspendidas que confieren color, olor y turbiedad al agua; su uso ha sido empleado por muchos años con resultados satisfactorios tanto en calidad del agua final así como por ser un método de clarificación de agua económico. Además, debido al uso extendido de estos productos químicos, la mayoría de las plantas de tratamiento de agua han sido diseñadas considerando el uso ya sea de sales de aluminio o de hierro. Sin embargo, en la actualidad se han estudiado y desarrollado nuevos métodos de clarificación de agua que traen consigo mejores resultados de calidad del agua. El uso de polímeros es uno de ellos que, además de aportar mejores características al agua final, también ayuda a disminuir la cantidad de lodos –y volumen- generados en las plantas de tratamiento, además de disminuir la cantidad de dosis de productos químicos empleados para el tratamiento y, en algunos casos, el empleo de polímeros permite disminuir la dosis de aluminio y hierro o permita la sustitución de los mismos. Además, su uso genera flóculos mucho más grandes y fuertes que permiten una sedimentación más rápida y más densa.

(NIVIS et. al 2012), en la investigación se utilizó la prueba de Jarra, para simular el proceso de clarificación y obtener las dosis óptimas de los coagulantes. En cada

prueba, se determinó pH, alcalinidad, turbidez, color y características del floc (tamaño, tiempo de aparición y sedimentación). En el agua superficial, la dosis optima del CF es mucho mayor (40 mg/L) a la de sales de aluminio (SA= 16 mg/L y PAC= 8 mg/L). Caso similar ocurrió con el agua subterránea. La desventaja del cloruro férrico, es que le aporta color al agua, requiere ajuste de pH y altas dosis en comparación a las sales de aluminio, encareciendo el tratamiento. Sin embargo, su ventaja, es la formación de un floc pesado que sedimenta inmediatamente. Las sales de aluminio actúan al pH natural del agua, producen una mejor calidad (3 UC y 3 UNT) a menores dosis.

A nivel de Latinoamérica el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, inició sus experimentos con cloruro férrico y sulfato de aluminio, empezando a probar como varia el potencial de hidrogeno en el agua. Obteniendo eficiencias de remoción de hasta un 98% de la turbidez. (CEPIS, 1975).

B. Locales

(MALDONADO 2018), en la investigación se pudo demostrar que los dos parámetros considerados en esta investigación actúan de diferente forma y esto se hace notar en la velocidad: siendo óptima para la turbidez de 150 rpm y en cambio para el color fue de 200 rpm, pero en comparación con la utilización de sulfato de aluminio, el cual ha removido en 85% y 95% para el color y turbidez respectivamente, esta no alcanza los valores estimados por los Límites Máximos Permisibles, por ello se cree que este puede ser utilizado como un floculante ayudante y combinado con el sulfato de aluminio, pues este ayudaría a controlar a parte de los parámetros para la clarificación mejoraría mucho los resultados del pH que se obtienen en la utilización del agente químico.

En la quebrada Rumiyacu-Mishquiyacu, se detectó cierto grado de contaminación por excretas, sedimentos y turbidez de 10.20 UNT de la quebrada Mishquiyacu y 52.8 UNT en la quebrada de Rumiyacu en la captación de agua; que son arrastrados por la deforestación existente en el área de influencia. El contenido de sedimentos en la microcuenca Rumiyacu es particularmente importante en la parte de la zona alta. En general, las características de las Microcuencas han sido

cambiadas por actividades de los pobladores asentados, requerimiento de aguas para el abastecimiento o debido a los cambios por contaminación, a causa de las modificaciones por la infiltración de los suelos como resultado de la agricultura, deforestación de las riberas y la colonización del área circundante. **(PEAM, 2005).**

1.2. Bases Teóricas

1.2.1. El agua: un recurso vital

El agua es un recurso vital para el mantenimiento y la conservación de cualquier tipo de vida en el planeta Tierra, sean humanos, plantas o animales. Su contribución al desarrollo social y económico de los países es inherente, esto debido a que el agua es un recurso esencial para la producción de alimentos, industria, generación de electricidad y el desarrollo turístico, entre otros. (GWP Centroamérica, 2013).

Agua potable. Es considerada agua potable, toda agua natural o producida por un tratamiento de potabilización que cumpla con las Normas de calidad establecidas para tal fin. Estas Normas se basan en estudios toxicológicos y epidemiológicos, así como en consideraciones estéticas. El agua potable se produce a partir del agua contaminada que proviene de aguas superficiales (lagos, arroyos, lagunas, ríos, mares, océanos y glaciares), subterráneas (pozos profundos) y atmosféricas (lluvias). Debido a la amplia gama de contaminantes, a los diferentes niveles de contaminación, así como a la cinética química de las sustancias, elementos, materia orgánica y microorganismos que se incorporan en el cuerpo del agua, es indispensable conocer sus características físicas, químicas y microbiológicas antes de seleccionarla como fuente de agua cruda. Siendo el agua indispensable para la vida, es necesario que los consumidores dispongan de un abastecimiento de agua satisfactorio, por lo que el abastecedor debe realizar el mayor esfuerzo posible para suministrar agua de la mejor calidad de acuerdo con las normas establecidas. Cada país es el encargado de establecer dichas normas y de vigilar su cumplimiento. (CASTRILLÓN, 2012).

1.2.2. Características físico-químicas del agua

Potencial de Hidrógeno pH. El pH es un parámetro que mide la concentración de iones hidronio presentes en el agua. El pHmetro o potenciómetro consta de un electrodo de vidrio que genera una corriente eléctrica proporcional a la concentración de protones de la solución y que se mide en un galvanómetro. La corriente puede transformarse fácilmente en unidades de pH o mV por diferentes procedimientos de calibrado. El valor del pH depende de la temperatura. El pH metro se calibra potenciométricamente, con un electrodo indicador de vidrio y uno de referencia, (que pueden presentarse combinados en uno solo), utilizando patrones trazables. (APHA-AWWA-WEF, 2005).

Turbiedad. La turbiedad de las aguas se debe a la presencia de material suspendido y coloidal como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos. La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que hace que los rayos luminosos se dispersen y se absorban, en lugar de que se transmitan sin alteración a través de una muestra. El método Nefelométrico se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas, con la intensidad de la luz dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbiedad. El equipo empleado es un turbidímetro (nefelómetro), el cual ofrece la lectura directa de turbiedad en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) (HACH COMPANY, 1997).

Temperatura. La temperatura es un parámetro físico que afecta mediciones de otros como pH, alcalinidad o conductividad. Las temperaturas elevadas resultantes de descargas de agua caliente, pueden tener un impacto ecológico significativo por lo que la medición de la temperatura del cuerpo receptor, resulta útil para evaluar los efectos sobre éste (RODIER, 1990).

Sólidos disueltos totales. Los sólidos disueltos totales, son las sustancias que permanecen después de filtrar y evaporar a sequedad una muestra bajo condiciones específicas. En los sólidos disueltos totales (SDT), se determina el

incremento de peso que experimenta una cápsula tarada, tras la evaporación en ella de una alícuota de la muestra previamente filtrada y que posteriormente es secada a peso constante a 180°C, temperatura a la cual el agua de cristalización está prácticamente ausente. El contenido de sólidos disueltos puede estimarse por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos totales. (APHA-AWWA-WEF, 2005).

1.2.3. Coagulación

Las partículas que forman la turbiedad y el color de las aguas naturales, poseen cargas eléctricas que normalmente son negativas, pero como también existen cargas eléctricas positivas, se puede afirmar que el agua y las soluciones son eléctricamente neutras. Las cargas eléctricas de las partículas generan fuerzas de repulsión entre ellas, por lo cual se mantienen suspendidas y separadas en el agua. Es por esto que dichas partículas no se sedimentan. Mediante el proceso de coagulación se neutraliza la carga eléctrica del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas, esta neutralización suele realizarse aplicando al agua determinadas sales de aluminio o hierro (coagulantes); de forma que los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a las partículas coloidales dispersas en el agua. La coagulación y la floculación tienen lugar en sucesivas etapas, de forma que una vez desestabilizadas las partículas, la colisión entre ellas permita el crecimiento de los microflóculos, apenas visibles a simple vista, hasta formar mayores flóculos. Al observar el agua que rodea a los microflóculos, ésta debería estar clara; si esto no ocurre, lo más probable es que todas las cargas de las partículas no han sido neutralizadas y por tanto la coagulación no se ha completado, en este caso será necesario añadir más coagulante. (CASTRILLÓN, 2012).

La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos. El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y

representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto, que se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada. (ANDÍA, 2000)

1.2.4. Floculación

La formación de los flóculos es consecuencia de la agrupación de las partículas descargadas al ponerse en contacto unas con otras. Puede ser causada por la colisión entre las partículas, debido a que cuando se acercan lo suficiente las superficies sólidas, las fuerzas de Van der Waals predominan sobre las fuerzas de repulsión, por la reducción de la carga eléctrica que trae como consecuencia la disminución de la repulsión eléctrica. La floculación puede ser ortocinética, que es la inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas (paletas giratorias) y es cuando los contactos son producidos por el movimiento del fluido, o pericinética que es la promovida dentro del líquido por el movimiento que tienen las partículas en él, debido a la agitación y por la gravedad y el peso de las partículas, las que se aglomeran al caer y es cuando el contacto entre las partículas es producido por el movimiento Browniano. El coagulante aplicado da lugar a la formación del flóculo, pero es necesario aumentar su volumen, su peso y especialmente su cohesión. Para favorecer el engrosamiento del flóculo será necesaria una agitación homogénea y lenta del conjunto, con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas descargadas eléctricamente se encuentren con una partícula flóculo. (CASTRILLÓN, 2012).

1.2.4.1. Coagulantes

En general, se puede decir que los coagulantes son aquellos compuestos de hierro y aluminio capaces de formar un floc y que pueden efectuar coagulación al ser añadidos al agua. Por otra parte, ayudas de coagulación, en realidad no actúan como tales en la coagulación sino en la floculación generando un floc más pesado. Los productos químicos que se utilizan normalmente en la coagulación son alúmina (sulfato de

aluminio), cloruro férrico, aluminato de sodio, sulfato ferroso y cal. La alúmina es el coagulante de uso más extendido. Entre las ayudas de coagulación se incluye el cloruro de magnesio, el aluminato de sodio, la sílice activa, el almidón y gran número de polielectrólitos de masa molecular alta. La popularidad de los coagulantes de aluminio y hierro surge no solo de su efectividad como coagulantes, sino también de su disponibilidad y relativo bajo costo. La efectividad de estos coagulantes surge principalmente por su habilidad de formar complejos polinucleares multicargados en solución con mayores características de adsorción. (CASTRILLÓN, 2012).

Los tipos de coagulantes para agua potable son:

1. **Sales de aluminio:** Forman un floc ligeramente pesado. Las más conocidas son: El Sulfato de Aluminio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 14\text{H}_2\text{O}$, que en la práctica se le denomina como Alumbre; el Sulfato de Aluminio Amoniacal y el Aluminato Sódico. El primero es el que se usa con mayor frecuencia dado su bajo costo y manejo relativamente sencillo. (TUOMAS, 2008).

Las sales de aluminio son:

Sulfato de aluminio: Conocido como Alumbre, es un coagulante efectivo en intervalos de pH 6 a 8. Produce un flóculo pequeño y esponjoso por lo que no se usa en precipitación previa de aguas residuales por la alta carga contaminante del agua. Sin embargo su uso está generalizado en el tratamiento de agua potable y en la reducción de coloides orgánicos y fósforo. (MANGINI, PRENDES, AMSLER, & HUESPE, 2003).

Aluminato sódico: Se emplea poco. Su uso más habitual es eliminar color a pH bajo. Además se puede usar en el ablandamiento de agua con cal. (MANGINI, PRENDES, AMSLER, & HUESPE, 2003).

- 2. Sales de hierro:** Se utiliza el Cloruro Férrico, FeCl_3 , y los Sulfatos de Hierro Férrico y Ferroso, $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$ y FeSO_4 . Forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento que las sales de aluminio. (TUOMAS, 2008).

Las sales de hierro son:

Sulfato Férrico: Funciona de forma estable en un intervalo de pH de 4 a 11, uno de los más amplios conocidos. Producen flóculos grandes y densos que decantan rápidamente, por lo que está indicado tanto en la precipitación previa como en la coprecipitación de aguas residuales urbanas o industriales. Se emplea también en tratamiento de aguas potables aunque en algún caso puede producir problemas de coloración. (MANGINI, PRENDES, AMSLER, & HUESPE, 2003).

Cloruro Férrico: Es similar al anterior aunque de aplicación muy limitada por tener un intervalo de pH más corto. Es enérgico aunque puede presentar problemas de coloración en las aguas. (MANGINI, PRENDES, AMSLER, & HUESPE, 2003).

3. Cloruro de hierro

El cloruro de hierro (III) o tricloruro de hierro (tradicionalmente llamado cloruro férrico) es un compuesto químico utilizado a escala industrial perteneciente al grupo de los haluros metálicos, cuya fórmula es FeCl_3 . También se le denomina equivocadamente percloruro de hierro e incluso percloruro férrico. El cloruro férrico en solución al 40% se utiliza como coagulante para tratamiento de aguas y efluentes, se comercializa habitualmente a granel. (WORDPRESS, 2016).

1.2.4.2. Prueba de jarras.

La prueba de jarras es un procedimiento común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el agua o el

tratamiento de aguas residuales. Este método permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado, o la prueba de coagulante o diferentes tipos de polímeros, a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento. Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor.

La coagulación química y la dosificación apropiada de reactivos deben ser seleccionadas por la simulación del paso de clarificación en un laboratorio a escala. La Prueba de Jarras es la que mejor simula la química de la clarificación y la operación llevada a cabo. Un arreglo simple de vasos de precipitado y paletas permite comparar varias combinaciones químicas, las cuales todas están sujetas a condiciones hidráulicas similares. Esta prueba se realiza con el fin de determinar la concentración óptima de coagulante necesaria para obtener un floc de las mejores características. (RESTREPO, 2009).

1.2.5. Marco legal

Reglamento de calidad de agua para consumo humano

El reglamento de la calidad de agua para Consumo Humano (D.S. 031 - 2010 SA.) Este reglamento, a través de sus 10 títulos, 81 artículos, 12 disposiciones complementarias, transitorias y finales y 5 anexos; no solo establece límites máximos permisibles, en lo que a parámetros microbiológicos, parasitológicos, organolépticos, químicos orgánicos e inorgánicos y parámetros radiactivos, se refiere; sino también le asigna nuevas y mayores responsabilidades a los Gobiernos Regionales, respecto a la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo humano; además de fortalecer a la DIGESA, en el posicionamiento como Autoridad Sanitaria frente a estos temas.

Tabla 1.

Límites Máximos Permisibles de Calidad Organoléptica

Parámetros	Unidad de medida	Límite Máximo Permisible
Olor	--	Aceptable
Sabor	--	Aceptable
Color	UCV escala Pt/Co	15
Turbiedad	UNT	5
pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
Conductividad	micro/cm	1500
Sólidos totales disueltos	mg/L	1000
Cloruros	mg/L	250
Sulfatos	mg/L	250
Dureza total	mg/L	500
Amoníaco	mg/L	1.5
Hierro	mg/L	0.3
Manganeso	mg/L	0.4
Aluminio	mg/L	0.2
Cobre	mg/L	2
Zinc	mg/L	3

Fuente: (Reglamento de la calidad de agua para consumo humano- MINSA, 2010)

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.

En el Perú se encuentra vigente; La Ley 28611 (D.S N° 004 – 2017 MINAM), donde se establece los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, en función al uso de los cuerpos de agua, la descarga de las aguas residuales tratadas o no, deben provocar un impacto tal que no se sobrepasen los valores establecidos en el Reglamento de la Ley. El Reglamento de la Ley 28611 (D.S N° 004 – 2017 MINAM) señala la clasificación existente, los cuales indican los valores límites correspondientes a los cursos de agua y de las zonas costeras del país (MINAM, 2017).

Tabla 2.

Estándares de Calidad Ambiental para Agua- Categoría 1 (ECAS) Población y Recreacional, Sub Categoría A. Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	A ₁	A ₂	A ₃
01	Turbiedad	U.N.T	5.0	100	**
02	pH	Potencial de Hidrógeno	6.5-8.5	5.5-9.	6-9
03	Conductividad	μS/cm	1500	1600	---
04	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	1000	1000	1500
05	Oxígeno Disuelto	mg/L	≥6	≥5	≥4
06	Sulfatos	mg/L	250	**	**
07	Nitratos	mg/L	10	10	10
08	Cloruros	mg/L	250	250	250
09	Aluminio	mg/L	0.20	0.20	0.20
10	Hierro	mg/L	0.30	1.0	1.0
11	Manganeso	mg/L	0.40	0.40	0.50
12	Dureza Total	mg/L	500	**	**
13	Oro	mg/L	N.D	N.D	N.D
14	Sodio	mg/L	200	200	200
15	Arsénico	mg/L	0.01	0.01	0.05
16	Cobre	mg/L	2	2	2
17	Zinc	mg/L	3	5	5
18	Coliformes Totales	UFC/100 mL	50	3000	50000
19	Coliformes Fecales	UFC/100 mL	0	2000	20000
20	Escheaichia Coli	UFC/100 mL	0	0	---

Fuente: MINAN-2017

UFC: Unidad Formadora de Colonias en 100 mL

UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.

****** El parámetro no es relevante.

A₁: Aguas que pueden ser Potabilizadas con desinfección.

A₂: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

A₃: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.

1.2.6. Marco geográfico

La quebrada Rumiycu, se encuentra ubicada en la margen derecha del río Mayo, jurisdicción del distrito de Moyobamba, provincia de Moyobamba, está situada en la parte norte del departamento de San Martín, en la región selvática del Perú entre los meridianos 76°43' y 77°38' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich y entre los paralelos 5° 09' Y 6° 01' de latitud Sur, considerando los puntos extremos de sus límites. . La quebrada Mishquiyacu es el afluente más importante de la quebrada Rumiycu, ambos constituyen la microcuenca Rumiycu-Mishquiyacu, que abastece de agua a gran parte de la población de la ciudad de Moyobamba, tiene una elevación aproximada de 1620 msnm en la parte alta y 944 msnm en la parte media donde se ubica la bocatoma de la planta de tratamiento de agua potable de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Moyobamba SRLtda (EPS Moyobamba), encargada de brindar el servicios de agua. (PEAM, 1998).

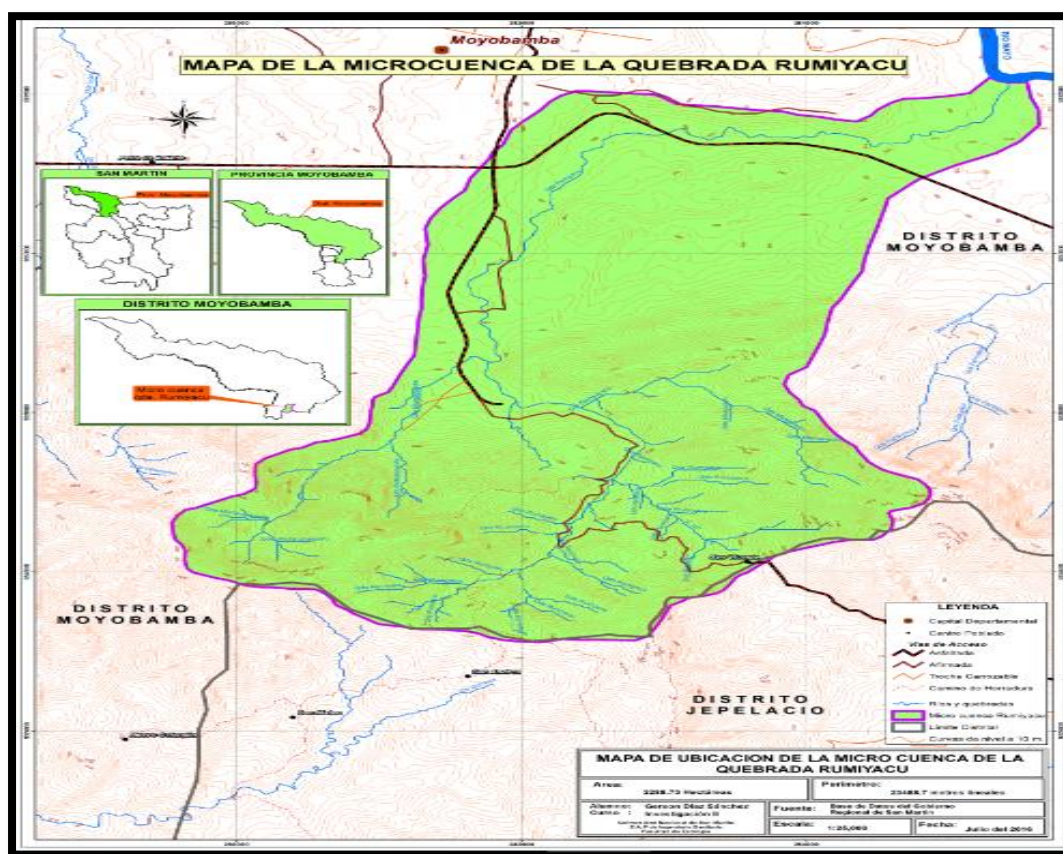


Figura 1: Ubicación geográfica de la zona de estudio. (Fuente: PEAM-2010).

1.3. Definición de términos básicos

- **Agua:** El agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación. **(Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010).**
- **Agua tratada:** Toda agua sometida a procesos físicos, químicos y/o biológicos para convertirla en un producto inocuo para el consumo humano. **(Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010).**
- **Agua de consumo humano:** Agua apta para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal. **(Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010).**
- **Alcalinidad:** La alcalinidad significa la capacidad tapón del agua; la capacidad del agua de neutralizar. Evitar que los niveles de pH del agua lleguen a ser demasiado básico o ácido. **(Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010).**
- **Calidad del agua:** Determinación de la calidad del agua suministrada por el proveedor, de acuerdo a los requisitos físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos del agua para consumo humano. **(Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010).**
- **Consumidor:** Persona que hace uso del agua suministrada por el proveedor para su consumo. **(Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010).**
- **Estándar de Calidad Ambiental (ECA):** Estándar ambiental que regula el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la

salud de las personas ni al ambiente. (**Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010**)

- **Flóculos:** Grumo de materia orgánica formado por agregación de sólidos en suspensión. (**Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010**)
- **Indicador Ambiental:** Es un parámetro, o un valor derivado de parámetros que busca proveer información describiendo de manera sintética una medida aproximada o evidencia del estado del ambiente y su impacto cuyo significado es mayor que las propiedades directamente asociadas al valor de los parámetros. (**Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010**)
- **Límite Máximo Permisible (LMP):** Instrumento de gestión ambiental que regula la concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. (**Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010**)
- **Microorganismos:** Los microorganismos son aquellos seres vivos más diminutos que únicamente pueden ser apreciados a través de un microscopio. En este extenso grupo podemos incluir a los virus, las bacterias, levaduras y mohos que pululan por el planeta tierra. (**Castrillón, 2012**).
- **Microflóculos.** Creación de micropartículas desestabilizadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante (generalmente sales de aluminio o de hierro), el cual, neutralizando sus cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí. (**Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010**).
- **Parámetros microbiológicos:** Son los microorganismos indicadores de contaminación y/o microorganismos patógenos para el ser humano analizados

en el agua de consumo humano. (**Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010**).

- **Turbidez:** Medida de la no transparencia del agua debida a la presencia de materia orgánica suspendida. (**Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010**).
- **Parámetros organolépticos:** Son los parámetros físicos, químicos y/o microbiológicos cuya presencia en el agua para consumo humano pueden ser percibidos por el consumidor a través de su percepción sensorial. (**Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010**).
- **Parámetros inorgánicos:** Son los compuestos formados por distintos elementos pero que no poseen enlaces carbono-hidrógeno analizados en el agua de consumo humano. (**Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010**).
- **pH:** El valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrógeno presente. Es medido en una escala desde 0 a 14, en la cual 7 significa que la sustancia es neutra. Valores de pH por debajo de 7 indica que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 indican que la sustancia es básica. (**Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010**).
- **Turbidez:** Medida de la no transparencia del agua debida a la presencia de materia orgánica suspendida. (**Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, 2010**).
- **Turbidímetro:** Es un instrumento para medir partículas suspendidas en un líquido. Esto lo hace empleando una fotocelda colocada en un ángulo de 90° con respecto a una fuente luminosa. La densidad de partículas es entonces una función de la luz reflejada por las partículas a la fotocelda. (**Mangini, Prendes, Amsler, & Huespe, 2003**).

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materiales

10 pares de Guantes

1 Mandil

1 par de Botas

10 Mascarillas

Insumos coagulantes:

20 gramos de cloruro férrico

20 gramos de sulfato de aluminio

Equipos:

1 pHmetro

1 Turbidímetro

1 HI1893

Tabla 3.

Variables y dimensiones – indicadores

Variables	Dimensiones	Indicadores
Variable	Dependiente:	
Potabilización del agua de la quebrada Rumiyacu en términos de turbidez y pH	<ul style="list-style-type: none">• Turbidez• pH	<ul style="list-style-type: none">• En (mg/L)
Variable	Independiente:	
Coagulante: Cloruro Férrico y Sulfato de Aluminio.	<ul style="list-style-type: none">• Concentración de FeCl_3 y Al_2SO_3	1%, 2%, 3%

Fuente: Elaboración propia.

2.2. Métodos

- **Procedimiento de la toma de muestras, para los análisis físicos, químico y biológicos.**
 - Se contó con frascos de 500 ml de capacidad, adecuados y debidamente esterilizados.
 - Se georreferenció los puntos de tomas de muestras.
 - Los frascos se enjuagaron dos veces, con la misma agua antes de la toma de muestra.
 - Una vez llenado el frasco, se elimina o desecha una parte del agua para dejar un espacio de aire en el envase y lo tapamos.
 - Se rotulo el frasco, indicando el nombre de la fuente, fecha, hora, y los parámetros medidos in situ de la toma de muestra.
- Los datos se procesaron mediante la aplicación de la estadística descriptiva, mediante Software como Word para la redacción del informe, Excel para cálculos matemáticos y trabajo en cuadros.
- Se calculó la remoción de la turbidez y variación del potencial de hidrogeno, utilizando los dos coagulantes comerciales; se realizó esta comparación a diferentes concentraciones de coagulantes, velocidades y tiempos de aplicación de las sustancias.
- Los datos se procesaron mediante la aplicación de la estadística descriptiva, mediante Software como Word para la redacción del informe, Excel para cálculos matemáticos y trabajo en cuadros.
- Se calculará el porcentaje de remoción de la turbidez y variación del potencial de hidrogeno, utilizando los dos coagulantes comerciales; se realizó esta comparación a diferentes concentraciones de coagulantes, velocidades y tiempos de aplicación de las sustancias.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Parámetros iniciales físicos y químicos del agua de la quebrada Rumiyacu, del distrito de Moyobamba.

Se han medido (Turbidez, potencial de hidrogeno, color, solidos totales disueltos, alcalinidad y oxígeno disuelto), según lo planeado en dos meses (Mayo y Junio), estos representan de los 36 L., los parámetros iniciales de la quebrada Rumiyacu en la muestra de agua sin tratar.

Tabla 4.

Parámetros iniciales de la quebrada Rumiyacu, 2017

Parámetro	Unidad	Mes	
		Mayo	Junio
Ph		9	8.57
Sólidos Totales Disueltos	ppm	160	200
Oxígeno Disuelto	mg/L	9.4	8
Turbidez	UNT	74	12.38
Color	UPC	180	180
Alcalinidad	ppm	156	158

Fuente: Elaboración propia, 2017.

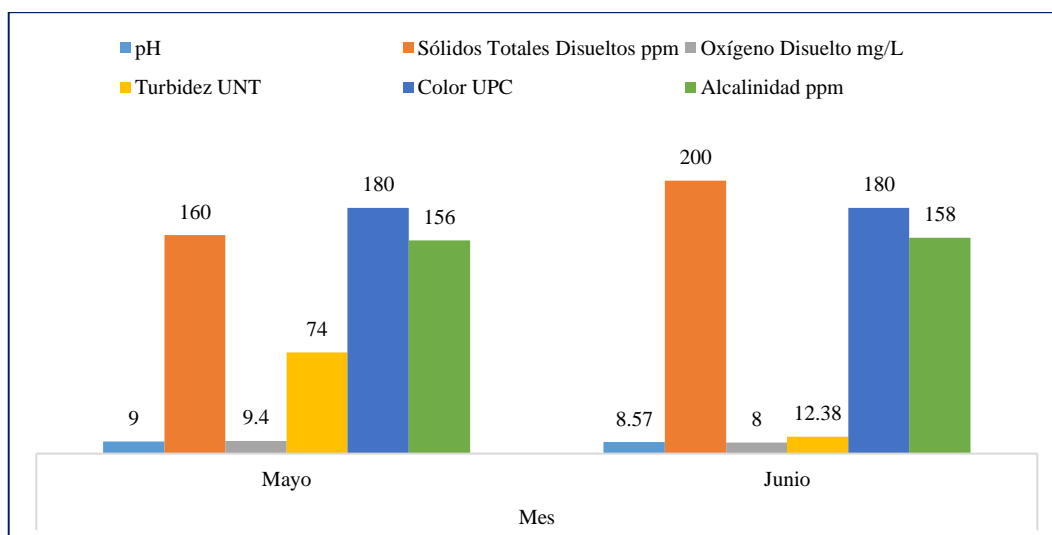


Figura 2: Parámetros iniciales de la quebrada Rumiyacu, 2017. (Fuente: Tabla 4).

Interpretación:

Para el mes de mayo en el que se recolectó la primera muestra el agua estaba un poco alterada por el mes de lluvias, como primer parámetro a describir tenemos el pH, el cual tiene un valor que muestra basicidad y por ende resistencia, ya que la alcalinidad de 156 lo preside, y sobre pasa un poco el valor de los ECAs, siendo el límite para ello de 8.5; así también demarca ser un agua con 74 UNT de turbidez y 180 UPC de color, los cuales oscurecen un poco el agua, tiene sólidos totales disueltos con un valor de 160, siendo admitido hasta unos 1000 ppm según los Estándares de la ley Peruana.

Como primer parámetro a describir en el mes de junio, tenemos el pH, el cual para este mes tiene un valor de 8.57 que también muestra basicidad y resistencia debido a la alcalinidad con un valor de 158, y tal como ocurrió en el anterior mes este sobrepasa un poco el valor de los ECAs, siendo el límite para ello de 8.5; así también demarca ser un agua con 12.38 UNT de turbidez para esta época que fue recolectada cuando ya no había mucha lluvia, y 180 UPC de color el cual oscurece un poco el agua, tiene sólidos totales disueltos con un valor de 200, siendo admitido hasta unos 1000 ppm según los Estándares de la ley Peruana.

Tabla 5.

Parámetros iniciales de la quebrada Rumiycacu comparados con los ECAs

Parámetro	Unidad	Mes		Promedio	ECA
		Mayo	Junio		
Ph		9	8.57	8.785	6.5-8.5
Sólidos Totales Disueltos	ppm	160	200	180	1000
Oxígeno Disuelto	mg/L	9.4	8	8.7	≥ 6
Turbidez	UNT	74	12.38	43.19	5
Color	UPC	180	180	180	15
Alcalinidad	ppm	156	158	157	

Fuente: Elaboración propia, 2017.

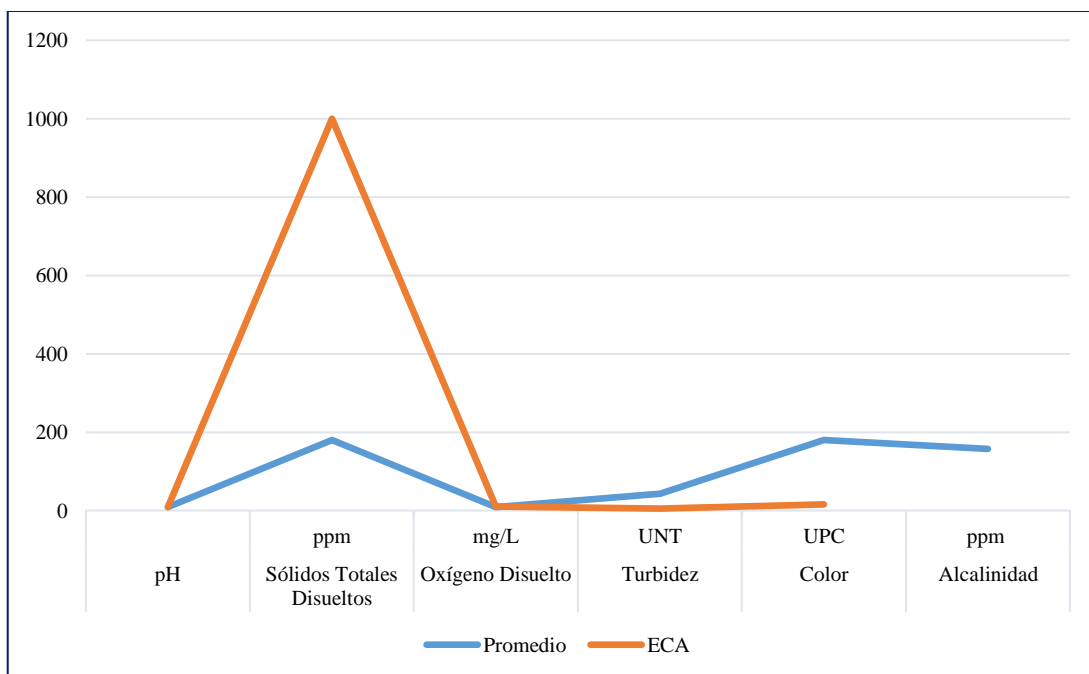


Figura 3: Parámetros iniciales de la quebrada Rumiayacu comparados con los ECAs. (Fuente: Tabla 5).

Interpretación:

Los resultados promedios de los parámetros iniciales medidos en los meses de mayo y junio, comparados con los estándares de calidad ambiental, están muy variados de acuerdo a cada parámetro, el pH en promedio se encuentra un poco básico superando en un 0.2 a lo establecido que es 8.5; en cambio los sólidos totales están muy debajo de lo que permite el estándar, así mismo el oxígeno disuelto está acorde también encontrando valores por encima del 6 mg/L, es la turbidez y el color los que se encuentran elevados según lo permitido el estándar, siendo aguas notoriamente contaminadas en este aspecto, la alcalinidad es un valor relativo que ayuda a amortiguar los ácidos, los cuales se encuentran bien opacados por su alto valor.

3.2. Tiempo y la velocidad óptima de aplicación del sulfato de aluminio y cloruro férrico

Se han realizado varios ensayos en el equipo de prueba de jarras, a diferentes velocidades, las cuales han demostrado tener sus propias influencias en la turbidez y pH.

Tabla 6.

Turbidez del agua de la quebrada Rumiyaqu a diferentes velocidades, tiempos y coagulantes.

Parámetro	Turbidez							
Velocidad	300 r.p.m		250 r.p.m		200 r.p.m		150 r.p.m	
Tiempo	1.5'		1.5'		1.5'		1.5'	
Coagulante	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃
Jarra 1	52.99	11.78	52.99	11.42	2.47	14.57	2.6	13.14
Jarra 2	55.3	6.9	55.3	11.25	6.02	11.82	2.62	15.52
Jarra 3	57.2	6.97	57.2	11.41	2.6	12.98	4.81	13.35
Jarra 4	55.48	5.86	55.48	11.11	3.4	11.66	5.28	13.35
Jarra 5	62.42	6.52	62.42	11.13	3.58	10.01	5	18.89
Jarra 6	62.22	5.37	62.22	11.52	4.43	11.31	7.62	13.37

Fuente: Elaboración propia, 2017.

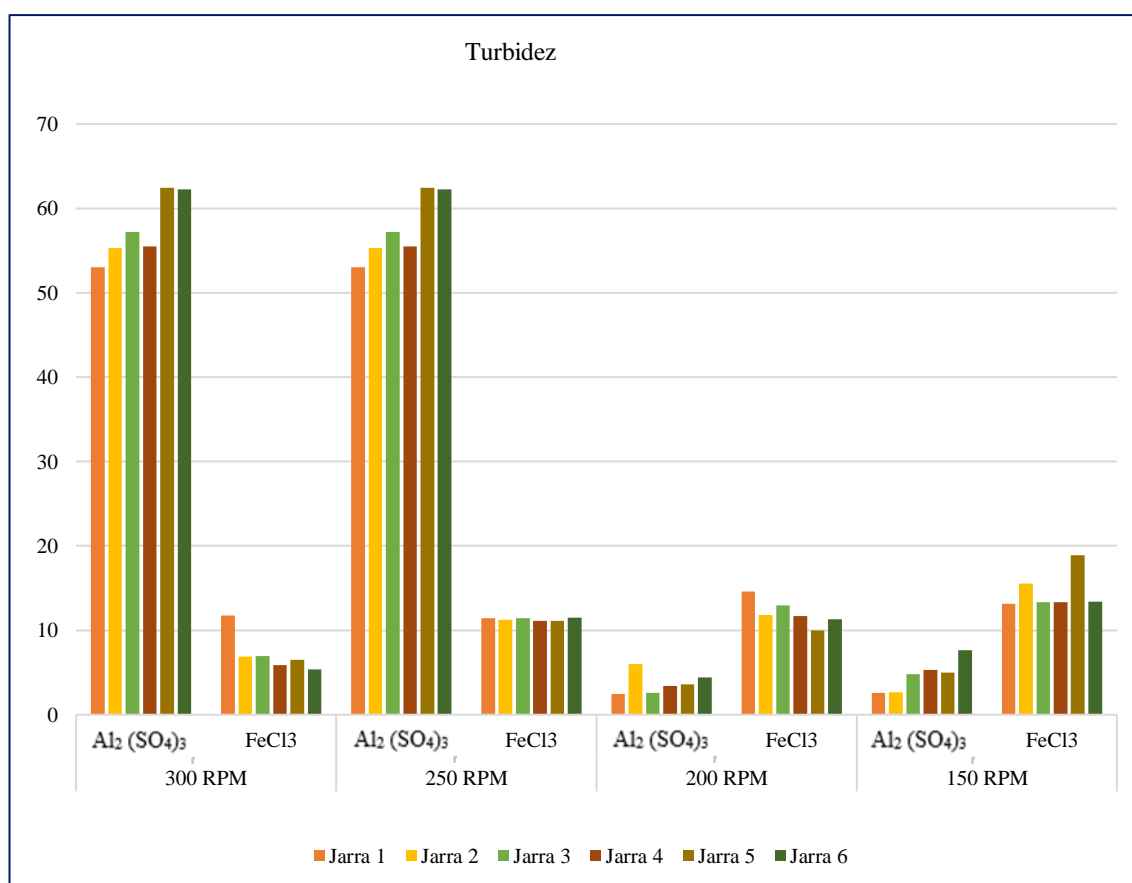


Figura 4: Turbidez del agua de la quebrada Rumiyaqu a diferentes velocidades, tiempos y coagulantes. (Fuente: Tabla 6)

Interpretación:

Los ensayos que se han realizado para las pruebas con cloruro férrico y sulfato de aluminio, en cuanto al parámetro de turbidez tenemos que la velocidad optima encontrada en el laboratorio para los dos tipos de coagulantes es de 200 revoluciones por minuto, con los tiempos para mezcla rápida de 1.5 minutos y luego en mezcla lenta con 50 revoluciones por minuto por un espacio de 15 minutos y luego se dejó sedimentar por 10 minutos; este resultado en cuanto a velocidades y tiempos fueron los óptimos ya que se redujeron en gran manera la turbidez del agua, cuyos valores con cloruro férrico y sulfato de aluminio fueron de 10.01 UNT y 2.6 UNT respectivamente tomando en cuenta que los parámetros iniciales para los dos tipos de coagulantes no fueron los mismos por condiciones climáticas.

Tabla 7.

pH del agua de la quebrada Rumiycu a diferentes velocidades, tiempos y coagulantes

Parámetro	pH							
Velocidad	300 r.p.m		250 r.p.m		200 r.p.m		150 r.p.m	
Tiempo	1.5'		1.5'		1.5'		1.5'	
Coagulante	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃
Jarra 1	8.38	8.5	7.67	8.41	7.65	8.43	7.63	8.93
Jarra 2	8.36	8.48	7.42	8.43	7.35	8.41	7.35	8.38
Jarra 3	8.39	8.42	7.26	8.41	7.22	8.4	7.27	8.34
Jarra 4	8.39	8.45	7.08	8.41	7.02	8.39	7.11	8.34
Jarra 5	8.36	8.2	6.95	8.39	6.94	8.4	6.99	8.36
Jarra 6	8.35	8.43	6.87	8.39	6.91	8.4	6.84	8.35

Fuente: Elaboración propia.

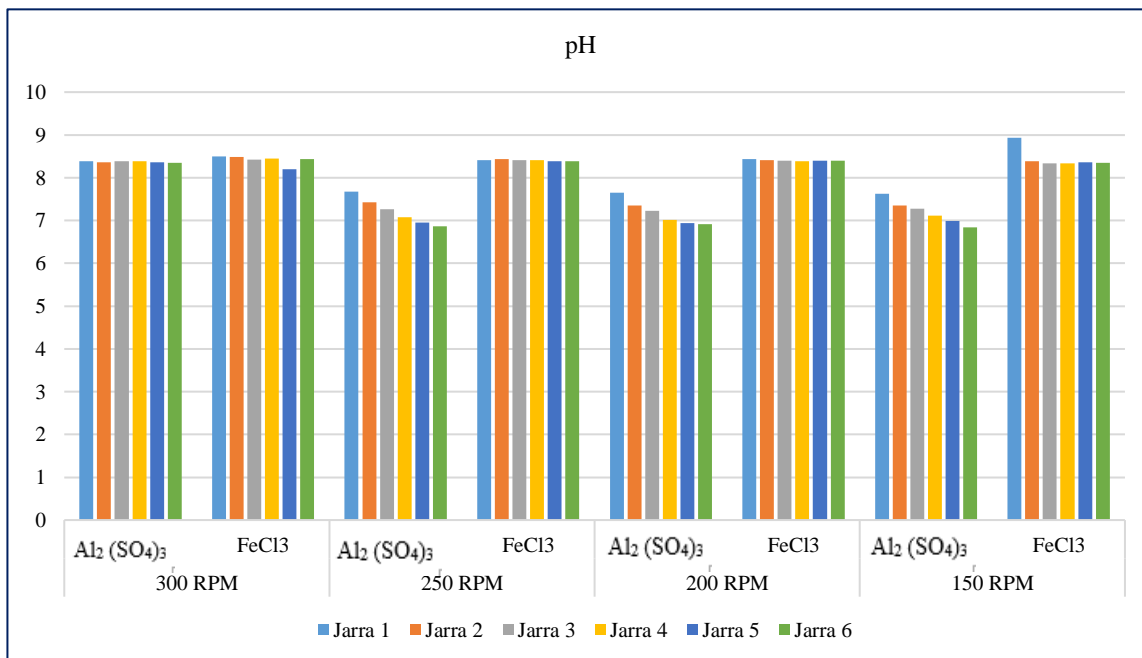


Figura 5: pH del agua de la quebrada Rumiyacu a diferentes velocidades, tiempos y coagulantes. (Fuente: Tabla 7).

Interpretación:

Los tiempos registrados para todas las pruebas con los dos tipos de coagulantes, demuestran que estos bajan la basicidad del pH, pues al inicio esta cuanta con un valor de 9 el cual después de los ensayos y para todas las velocidades registran valores hasta un 6.87 con sulfato de aluminio y 8.34 con cloruro férrico, siendo todos los tiempos óptimos para bajar el valor y dejar acorde a los LMPs cuyo rango establece 6.5-8.5 pH para consumo humano, concluyendo que todos los ensayos a diferentes tiempos y velocidades nos permiten llegar a este valor, teniendo en cuenta también que a pesar de tener un gran amortiguador que es la alcalinidad, el sulfato de aluminio como coagulante tiende a bajar más el pH, que el otro coagulante.

3.3. Dosis óptima de cloruro férrico y sulfato de aluminio

Para el tratamiento de las aguas de la quebrada Rumiyacu, distrito de Moyobamba se han realizado ensayos a diferentes concentraciones, para determinar la dosis óptima.

3.3.1. Ensayos con sulfato de aluminio al 1%

Tabla 8.

Primer ensayo con sulfato de aluminio al 1% a 300 r.p.m

Quebrada Rumiayacu

Sulfato de aluminio		1 mL	2 mL	3mL	4 mL	5 mL	6 mL	
Parámetros	Unidad	J(01)	J(02)	J(03)	J(04)	J(05)	J(06)	promedio
pH	pH	8.38	8.36	8.39	8.38	8.36	8.35	8.37
Sólidos Totales Disueltos	ppm	186.4	187.3	189	183.3	184.7	192.4	187.18
Oxígeno Disuelto	mg/L	9.33	8.68	7.15	8.04	9.34	6.57	8.19
Turbidez	UNT	52.99	55.3	57.2	55.48	62.42	62.22	57.60
Color	UPC	35	45	34.48	33.68	32.47	32.87	35.58
Alcalinidad	ppm	120	120	120	120	120	120	120.00

Fuente: Elaboración propia, 2017.

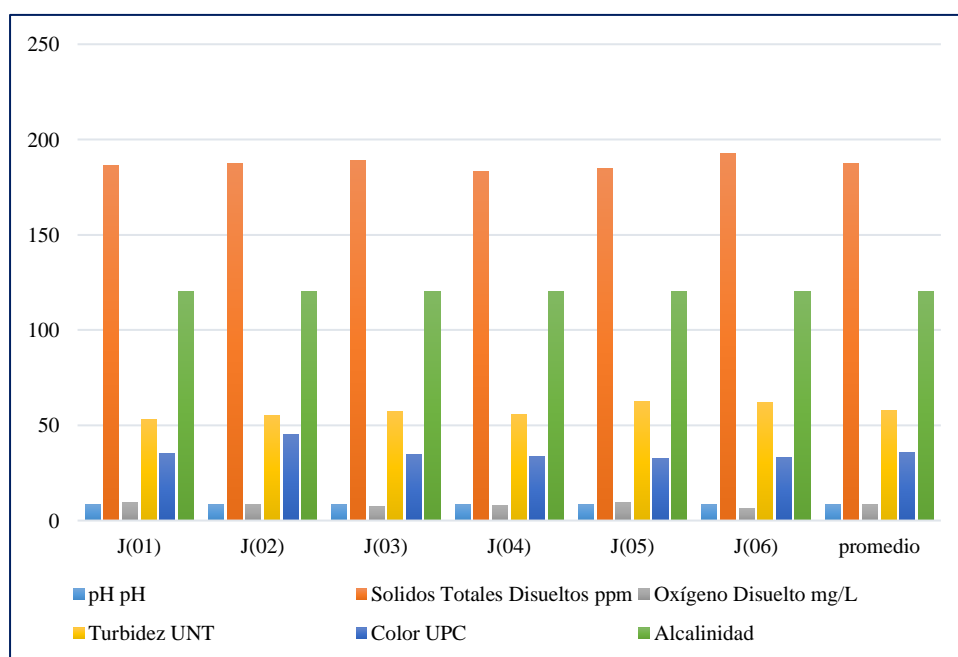


Figura 6: Primer ensayo con sulfato de aluminio al 1%. (Fuente: Tabla 8).

Interpretación:

Para el primer ensayo con sulfato de aluminio al 1% se encontró que la dosis más cercana a la óptima fue al colocar 5 mL del coagulante, pues fue el que redujo muchos parámetros como el color a 32.47, el oxígeno disuelto junto, los sólidos totales también fueron reducidos desde sus valores iniciales hasta hacerlo aptos por los límites; pero no se encuentra acorde con los límites la turbidez, pues excede en gran manera a este con un valor de 62 UNT.

Tabla 9.

Segundo ensayo con sulfato de aluminio al 1% a 250 r.p.m.

Quebrada Rumiyacu

Sulfato de aluminio		1 mL	2 mL	3mL	4 mL	5 mL	6 mL	
Parámetros	Unidad	J(01)	J(02)	J(03)	J(04)	J(05)	J(06)	promedio
pH	pH	7.67	7.42	7.26	7.08	6.95	6.87	7.21
Sólidos Totales Disueltos	ppm	20.4	33.4	36	42	51	60.3	40.52
Oxígeno Disuelto	mg/L	8.01	8.45	7.89	7.56	7.58	7.25	7.79
Turbidez	UNT	52.99	55.3	57.2	55.48	62.42	62.22	57.60
Color	UPC	16	15	21	19	22	17	18.33
Alcalinidad	ppm	112	112	112	112	112	112	112.00

Fuente: Elaboración propia, 2017.

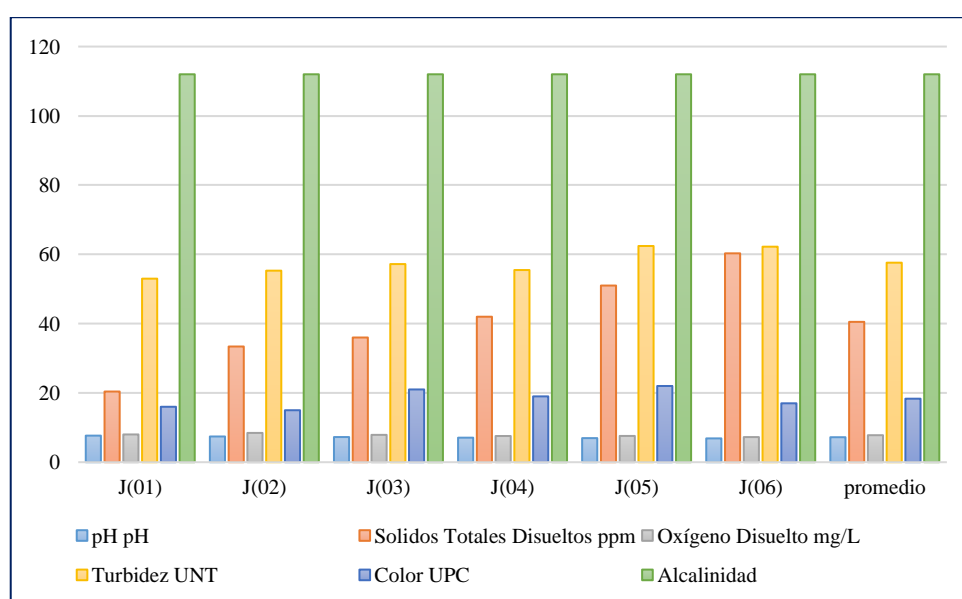


Figura 7: Segundo ensayo con sulfato de aluminio al 1%. (Fuente: Tabla 9).

Interpretación:

La dosis que se asemeja a la dosis óptima para este segundo ensayo es de 1 mL de sulfato de aluminio al 1%, pues ha reducido en gran proporción los parámetros iniciales como los de color y turbidez, con pH, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto los cuales no exceden la norma de los LMPs peruanos; pero el color con 16 UPC excede en 1 al límite que es 15 UPC y a la turbidez en gran proporción con un valor de 52.99 UNT. De este ensayo no se encontró dosis óptima.

Tabla 10.

Tercer ensayo con sulfato de aluminio al 1% a 200 r.p.m

Quebrada Rumiyacu

Sulfato de aluminio		1 mL	2 mL	3mL	4 mL	5 mL	6 mL	
Parámetros	Unidad	J(01)	J(02)	J(03)	J(04)	J(05)	J(06)	promedio
pH	pH	7.65	7.35	7.22	7.02	6.94	6.91	7.18
Sólidos Totales Disueltos	ppm	27.5	21.3	34.9	44.1	50.2	54.4	38.73
Oxígeno Disuelto	mg/L	7.21	7.09	7.58	7.16	7.46	7.48	7.33
Turbidez	UNT	2.47	6.02	2.6	3.4	3.58	4.43	3.75
Color	UPC	12.00	13.00	15.00	11.00	10.00	11.00	12.00
Alcalinidad	ppm	98	98	98	98	98	98	98.00

Fuente: Elaboración propia, 2017.

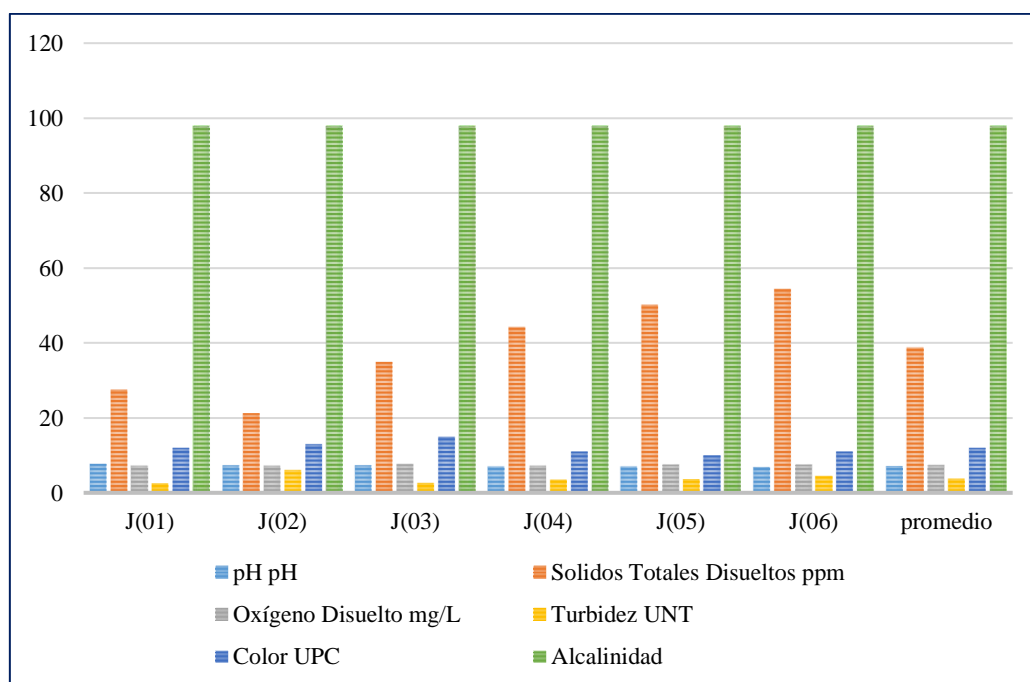


Figura 8: Tercer ensayo con sulfato de aluminio al 1%- (Fuente: Tabla 10).

Interpretación:

En este tercer ensayo encontramos que a esta velocidad las dosis de 1, 2, 4,5 y 6 mL de sulfato de aluminio al 1%, son óptimas porque han logrado poner todos los parámetros por debajo de los límites expuestos en los LMPs., notando en los valores promedios aptos para consumo humano teniendo para el color 12 UPC, turbidez 3.75 UNT , OD 7.33, STD 38.73 y pH de 7, todos dentro de los LMPs.

Tabla 11.

Cuarto ensayo con sulfato de aluminio al 1% a 150 r.p.m

Quebrada Rumiyacu

Sulfato de aluminio		1 mL	2 mL	3mL	4 mL	5 mL	6 mL	
Parámetros	Unidad	J(01)	J(02)	J(03)	J(04)	J(05)	J(06)	promedio
pH	pH	7.63	7.35	7.27	7.11	6.99	6.84	7.20
Sólidos Totales Disueltos	ppm	20.00	18.20	72.20	42.90	48.50	57.00	43.13
Oxígeno Disuelto	mg/L	7.14	7.02	7.09	6.51	7.28	7.59	7.11
Turbidez	UNT	2.6	2.62	4.81	5.28	5	7.62	4.66
Color	UPC	7.00	9.00	12.00	11.00	10.00	9.00	9.67
Alcalinidad	ppm	82	82	82	82	82	82	82.00

Fuente: Elaboración propia, 2017.

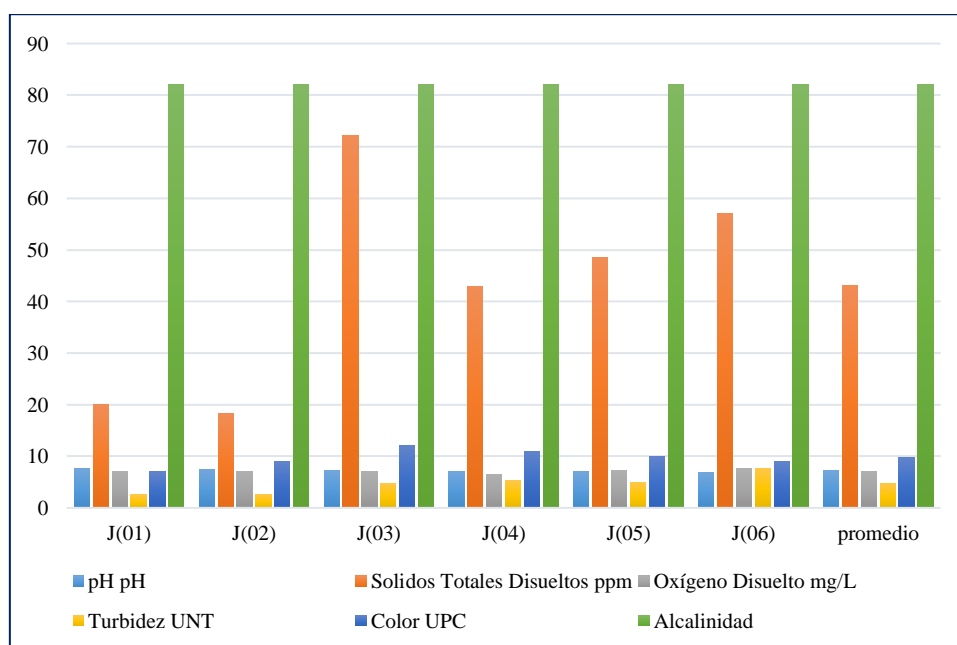


Figura 9: Cuarto ensayo con sulfato de aluminio al 1%. (Fuente: Tabla 11).

Interpretación:

Igualmente para este ensayo las dosis optimas son de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 mL de sulfato de aluminio al 1%, pues son las velocidades las que influyen mucho también para la adecuada conjugación de los coagulantes en este caso se puede demostrar claramente pues a esta velocidad las dosis puestas han sido efectivas para mejorar todos los parámetros.

3.3.2. Ensayos con cloruro férrico al 1%.

Tabla 12.

Primer ensayo con cloruro férrico al 1% a 300 r.p.m

Quebrada Rumiyacu

Cloruro férrico		1 mL	2 mL	3mL	4 mL	5 mL	6 mL	
Parámetros	Unidad	J(01)	J(02)	J(03)	J(04)	J(05)	J(06)	promedio
pH	pH	8.5	8.48	8.42	8.45	8.2	8.43	8.41
Sólidos Totales Disueltos	ppm	78.7	83	87.5	85	91.6	87	85.47
Oxígeno Disuelto	mg/L	5.1	10.57	10.57	10.45	10.3	10.53	9.59
Turbidez	UNT	11.78	6.9	6.97	5.86	6.52	5.37	7.23
Color	UPC	8.00	11.00	12.00	10.00	11.00	13.00	10.83
Alcalinidad	ppm	116	116	116	116	116	116	116.00

Fuente: Elaboración propia, 2017.

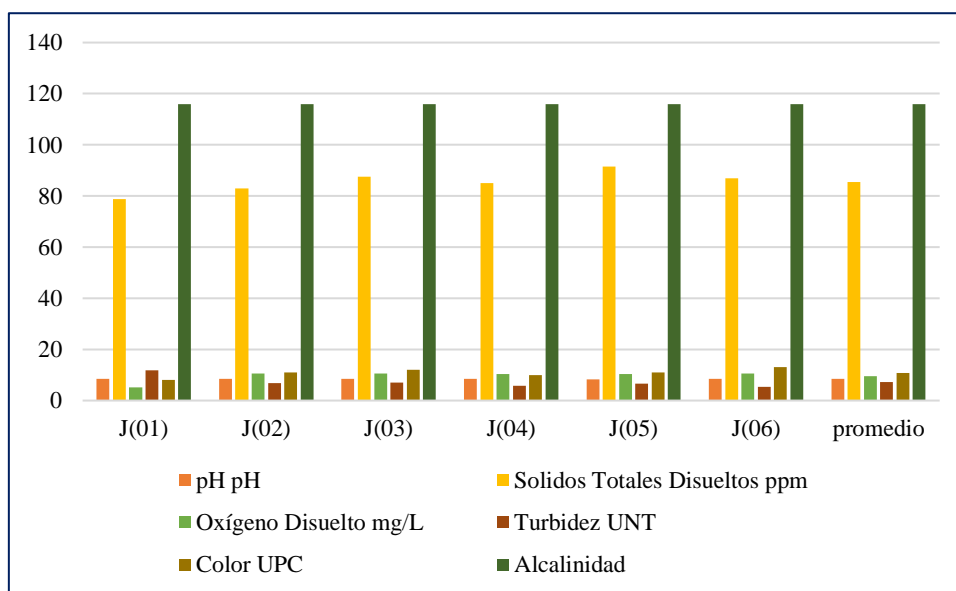


Figura 10: Primer ensayo con cloruro férrico al 1%. (Fuente: Tabla 12)

Interpretación:

Para este ensayo con cloruro férrico al 1% se obtuvo resultados cercanos a lo ideal, la dosis que se asemeja a la óptima en este caso es la de 6mL, faltando poco para mejorar la turbidez, que sobrepasa 0.37 UNT de los Límites Máximos Permisibles, el resto de parámetros se han establecido dentro del rango ideal.

Tabla 13.

Segundo ensayo con cloruro férrico 1% a 250 r.p.m.

Quebrada Rumiyacu

Cloruro férrico		1 mL	2 mL	3mL	4 mL	5 mL	6 mL	
Parámetros	Unidad	J(01)	J(02)	J(03)	J(04)	J(05)	J(06)	promedio
pH	pH	8.41	8.43	8.41	8.41	8.39	8.39	8.41
Sólidos Totales Disueltos	ppm	84.9	78.5	99.5	98.5	99.7	109	95.02
Oxígeno Disuelto	mg/L	9.01	8.35	7.85	7.89	8.57	7.68	8.23
Turbidez	UNT	11.42	11.25	11.41	11.11	11.13	11.52	11.31
Color	UPC	6.00	9.00	11.00	12.00	8.00	9.00	9.17
Alcalinidad	ppm	110	110	110	110	110	110	110.00

Fuente: Elaboración propia, 2017.

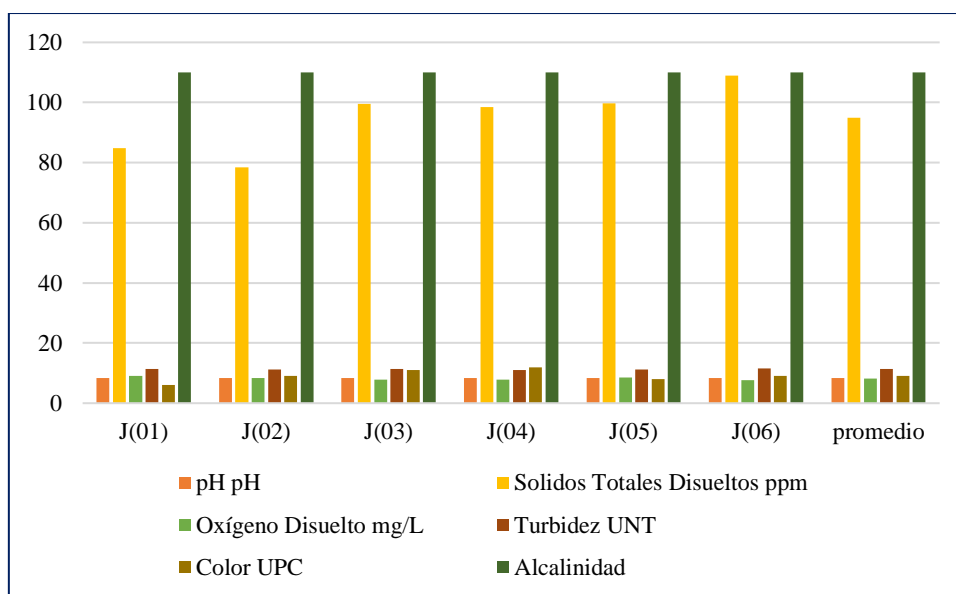


Figura 11: Segundo ensayo con cloruro férrico 1%. (Fuente: Tabla 13).

Interpretación:

En este segundo ensayo con cloruro férrico al 1% no se ha encontrado dosis óptimas por los resultados expuestos, los cuales muestran que han bajado el color en gran manera, pero no han hecho mucho con la turbidez, que incluso da valores más altos que en el primer ensayo, teniendo como promedio final de todas las dosis un valor de 11.31 UNT, que excede el límite establecido, teniendo en cuenta que los demás parámetros están dentro de lo aceptable para agua de consumo humano.

Tabla 14.

Tercer ensayo con cloruro férrico al 1% a 200 r.p.m

Quebrada Rumiyacu

Cloruro férrico		1 mL	2 mL	3mL	4 mL	5 mL	6 mL	
Parámetros	Unidad	J(01)	J(02)	J(03)	J(04)	J(05)	J(06)	promedio
pH	pH	8.43	8.41	8.4	8.39	8.4	8.4	8.41
Sólidos Totales Disueltos	ppm	88.7	98.7	104	106	119	107	103.90
Oxígeno Disuelto	mg/L	7.35	8.24	7.56	7.89	8.02	8.29	7.89
Turbidez	UNT	14.57	11.82	12.98	11.66	10.01	11.31	12.06
Color	UPC	6.00	9.00	8.00	13.00	11.00	14.00	10.17
Alcalinidad	ppm	95	95	95	95	95	95	95.00

Fuente: Elaboración propia, 2017.

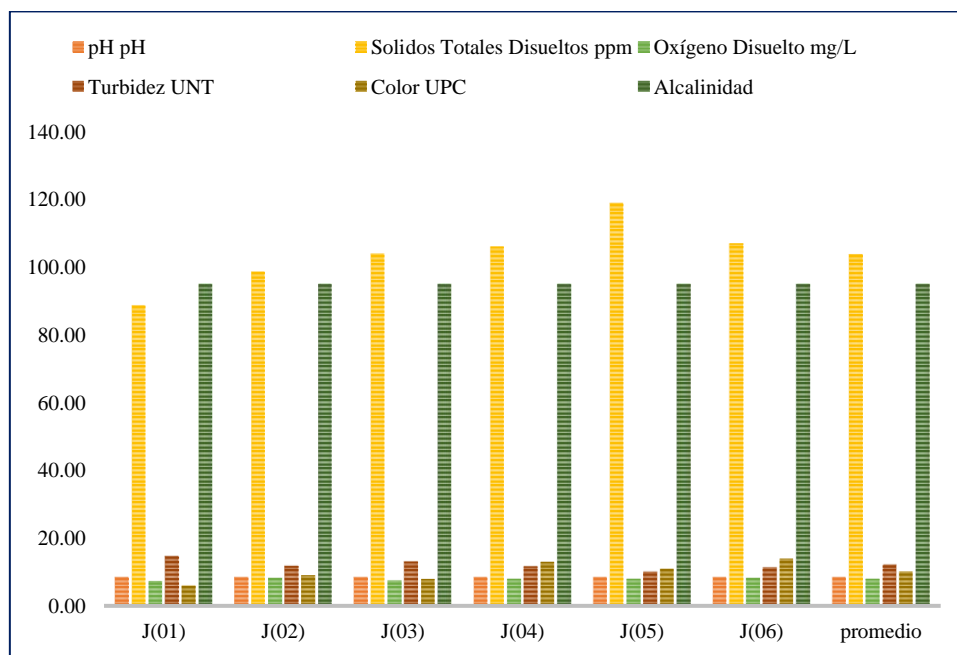


Figura 12: Tercer ensayo con cloruro férrico al 1%. (Fuente: Tabla 14).

Interpretación:

En el tercer ensayo con cloruro férrico al 1% no se muestra una dosis optima al igual que en la anterior el color ha bajado mucho y se encuentra dentro de los límites con todas las dosis, pero la turbidez ha subido y está por encima de lo esperado y reglamentado en los LMPs, para los otros parámetros incluyendo el pH se encuentran en buen estado.

Tabla 15.

Cuarto ensayo con cloruro férrico al 1% a 150 r.p.m

Quebrada Rumiyacu

Cloruro férrico		1 mL	2 mL	3mL	4 mL	5 mL	6 mL	
Parámetros	Unidad	J(01)	J(02)	J(03)	J(04)	J(05)	J(06)	promedio
pH	pH	8.93	8.38	8.34	8.34	8.36	8.35	8.45
Sólidos Totales	ppm	99.00	87.10	105.00	111.00	116.00	118.00	106.02
Disueltos								
Oxígeno Disuelto	mg/L	7.21	7.13	7.05	6.98	7.09	6.85	7.05
Turbidez	UNT	13.1	15.5	13.35	13.35	18.89	13.37	14.60
Color	UPC	13.0	11.0	9.00	11.00	12.00	13.00	11.50
Alcalinidad	ppm	78	78	78	78	78	78	78.00

Fuente: Elaboración propia, 2017.

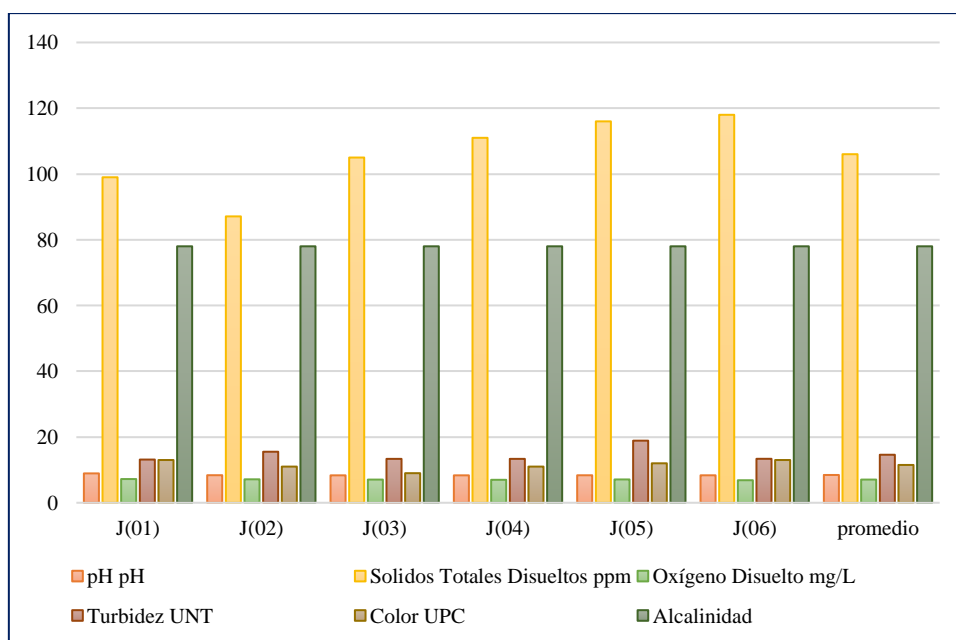


Figura 13: Cuarto ensayo con cloruro férrico al 1%. (Fuente: Tabla 15).

Interpretación:

Este último ensayo con cloruro férrico al 1% tampoco se ha encontrado dosis óptimas por los resultados expuestos, los cuales muestran estar excediendo en términos de turbidez para todas las dosis administradas en esta velocidad, sin embargo se puede observar que los demás parámetros están aceptables por los Límites Máximos Permisibles, incluyendo el pH que esta excede solo al ser administrada 1 mL, con los demás está dentro del límite.

Tabla 16.

Resultados obtenidos para todos los parámetros con sulfato de aluminio y cloruro férrico.

Parámetros	300 r.p.m		250 r.p.m		200 r.p.m		150 r.p.m	
	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃
pH	8.37	8.41	7.21	8.41	7.18	8.41	7.2	8.45
Sólidos Totales Disueltos	187.18	85.47	40.52	95.02	38.73	103.9	43.13	106.02
Oxígeno Disuelto	8.19	9.59	7.79	8.23	7.33	7.89	7.11	7.05
Turbidez	57.6	7.23	57.6	11.31	3.75	12.06	4.66	14.6
Color	35.58	10.83	18.33	9.17	12	10.17	9.67	11.5
Alcalinidad	120	116	112	110	98	95	82	78

Fuente: Elaboración propia, 2017.

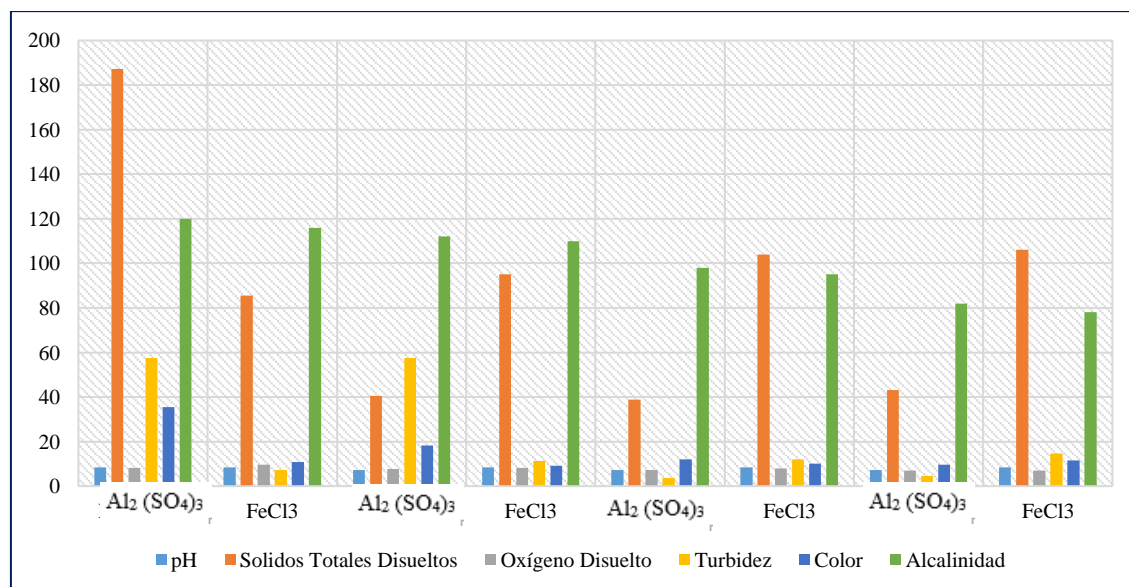


Figura 14: Resultados obtenidos para todos los parámetros con sulfato de aluminio y cloruro férrico. (Fuente: Tabla 16).

Interpretación:

En los resultados promedios de los dos tipos de coagulantes utilizados a la misma concentración y en las mismas dosis, muestran resultados distintos y variables en algunos parámetros, como es el caso del pH un valor que nos indica la acidez fuerte que pueda denotar un agente químico, en este caso el sulfato de aluminio es más fuerte que el cloruro férrico y su acidez va bajando más su valor, pero que con ayuda de la alcalinidad este puede seguir dentro del rango permitido; en cuanto al estudio de los STD se puede observar que es el sulfato de aluminio el más eficaz para sedimentar los sólidos disueltos, el cloruro

férrico en cambio sigue con valores por encima de 100, cabe mencionar que los dos coagulantes han logrado estar dentro de lo permitido en la ley; el oxígeno disuelto no se encuentra afectado en gran manera puesto que los dos coagulantes han trabajado de formas similares teniendo resultados por encima de 6; para la turbidez encontramos un comportamiento muy relacionado con las velocidades para el sulfato de aluminio, pero para el cloruro férrico su acción es independiente no llegando a lo esperado por los Límites Máximos Permisibles; para el color fueron los dos coagulantes efectivos pero a las velocidades de 100 y 150 rpm, donde se logró llegar al rango esperado.

Tabla 17.

Comparación de los resultados óptimos con los Límites Máximos Permisibles

Parámetros	Al ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	LMP
pH	7.2	8.45	6.5
Sólidos Totales	43.13	106.02	1000
Disueltos			
Turbidez	4.66	14.6	5
Color	9.67	11.5	15

Fuente: Elaboración propia, 2017.

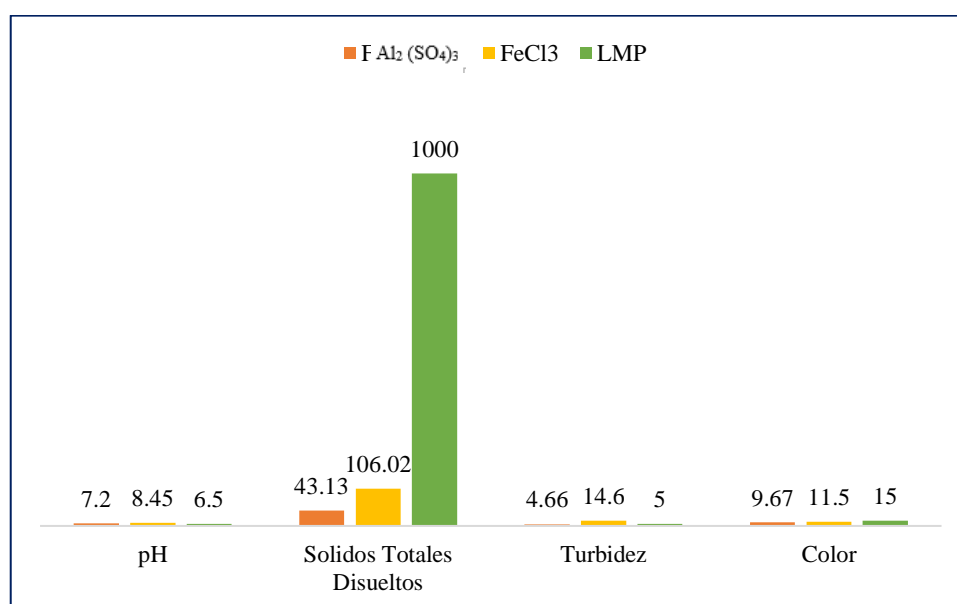


Figura 15. Comparación de los resultados óptimos con los Límites Máximos Permisibles.
(Fuente: Tabla 17).

Interpretación:

Se han tomado los parámetros obtenidos en las dosis y tiempos óptimos del sulfato de aluminio y del cloruro férrico, y se les ha comparado con los Límites Máximos Permisibles, para lo cual tenemos: para el pH se ha logrado tener valores acordes al límite que dice debe estar entre 6.5 y 8.5, cumpliendo con el rango los dos parámetros aunque el sulfato de aluminio bajó mucho más por su acidez; en el parámetro de Sólidos Totales Disueltos los dos coagulantes también se encuentran dentro de los límites establecidos, aunque aquí también demostró ser más eficiente el sulfato de aluminio con un valor de 43.13 mg/L y en turbidez con 4.66 NTU lo que no paso con el cloruro férrico que solo ha podido llegar a 14.6 NTU, no estando dentro de lo establecido según el límite debería ser 5 NTU y bueno en términos de color es el cloruro férrico el que bajo mucho más, debido a su poder de remoción y precipitación del hierro III, es de mencionar que en este último parámetro los dos coagulantes también cumplieron con el límite que es de 15 UPC.

3.4. Discusión de resultados

En la presente investigación se realizó la comparación de los diferentes coagulantes metálicos en función a diversos parámetros, en este caso: Murillo (2011) en su trabajo de investigación “Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada”. Concluyo que los valores de pH obtenidos de los ensayos con Sulfato de Aluminio Líquido (SAL) confirmaron la tendencia de este producto a ocasionar un descenso brusco de éste; los cuales se afirman también en este trabajo, pues al realizar los ensayos fue este tipo de coagulante el que bajo el pH; por ello fue necesario realizar los ensayos con agua previamente encalada y así evitar que el pH final del agua tratada estuviera por debajo de la norma; en cambio por la naturaleza del agua que se utilizó para hacer los análisis no ha sido necesario debido al alto de grado de alcalinidad que demostró y funciona como coagulante.

En su trabajo de investigación nos habla sobre la evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable” Restrepo (2009) Concluye que, de acuerdo con lo observado en otras plantas de potabilización,

el Sulfato de Aluminio líquido Tipo B es una muy buena opción siempre y cuando el agua tenga una alcalinidad apropiada. Lo que esta investigación también ha experimentado y demostrado por su alcalinidad, dando eficaces los ensayos con sulfato de aluminio. Actualmente, en la operación de coagulación se realiza la dosificación en el punto adecuado y proporcionando la turbulencia necesaria para una buena mezcla, es así que nuestro trabajo ha buscado las condiciones necesarias para la adecuada coagulación. El proceso de Coagulación-Floculación presenta un muy buen desempeño con el coagulante utilizado actualmente, se ha demostrado que la utilización de sulfato de aluminio en las aguas de la quebrada Rumiyacu se desempeña muy bien, y que en términos de floculación estaría bien tener como ayuda al cloruro férrico.

Para Trujillo (2013) que realizo su trabajo con coagulantes naturales y llegando a recomendar usar sulfato de aluminio líquido para la remoción de turbiedad de una fuente natural de agua mediante coagulación/floculación, en lugar de granulado. Por lo que en la presente tesis de investigación se demostró la capacidad de estos floculantes y coagulantes sintéticos como parte de remoción de contaminantes, él además nos sugiere que este proceso natural es efectivo como floculante, Además, nos manifiesta que el uso de coagulantes vegetales como complemento de las tecnologías para tratamiento de agua que va a ser sometida a potabilización, representa una oportunidad de investigación e innovación. Ha sido parte de los ensayos demostrar que de acuerdo al trabajo de investigación efectivamente el sulfato de aluminio actúa bien como coagulante removiendo en gran medida el parámetro de la turbidez.

En la investigación de Guadalupe (2012), realizo ensayos sobre la coagulación con coagulantes los cuales tienen cierto efecto con los organismos patógenos como los enteros parásitos. Este manifiesta que la remoción en la fuente de agua analizada para los tres coagulantes utilizados, fue semejante cuando se utilizó coagulación convencional. Aun así, se considera que sulfato de aluminio es el más apto para este fin, por cumplir con la normativa y ser económicamente más conveniente. Se debe tener en cuenta que este coagulante se utiliza en la mayoría de las plantas de tratamiento de nuestro país. La aplicación de pruebas estadísticas a los resultados experimentales, revelaron que a pH 5,7 se logró la mayor reducción de materia orgánica natural para sulfato de aluminio (91 %). Para cloruro férrico la máxima

eficiencia se obtuvo a pH 4,8 (86 %). Las diferencias al actuar como coagulantes de los dos tipos de compuestos también se dieron a notar, pues debido a la notable influencia del pH en la coagulación, el sulfato de aluminio remueve mejor las partículas y su efecto es más rápido que el cloruro férrico.

Al igual que Gonzales (2015), cuyo fin de trabajo fue el Uso de polímeros en el tratamiento de agua para consumo humano y concluye que el uso de agentes químicos como el sulfato de aluminio y hierro permite remover de manera significativa las partículas suspendidas que confieren color, olor y turbiedad al agua; su uso ha sido empleado por muchos años con resultados satisfactorios tanto en calidad del agua final, así como por ser un método de clarificación de agua económico. Según los resultados también han demostrado es que el sulfato de aluminio permite remover de manera significativa la turbiedad del agua y partículas suspendidas, por su mejor manera de actuar en la utilización como coagulante; y el cloruro férrico ha demostrado ser mejor en la remoción del color del agua.

A nivel de Latinoamérica el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, inició sus experimentos con cloruro férrico y sulfato de aluminio, empezando a probar como varía el potencial de hidrógeno en el agua. Obteniendo eficiencias de remoción de hasta un 98% de la turbidez. **(CEPIS, 1975)**. Coincidimos con los resultados demostrados en el cual se ha removido casi a un 100% de la turbidez con sulfato de aluminio y un 10% con cloruro férrico, se probó también que la variación del pH es menor con cloruro férrico, pues tiene más variabilidad al utilizar sulfato de aluminio.

En la quebrada Rumiyacu-Mishquiyacu, se detectó cierto grado de contaminación por excretas, sedimentos y turbidez de 10.20 UNT de la quebrada Mishquiyacu y 52.8 UNT en la quebrada de Rumiyacu en la captación de agua; que son arrastrados por la deforestación existente en el área de influencia **(PEAM, 2005)**. En la experimentación con agua de Rumiyacu en los meses de mayo y junio; se ha encontrado que en el mes de mayo la turbidez fue 74 UNT, eso debido a factores como las lluvias cercanas a la toma de muestras y otros factores que indican la influencia antropogénica (como señalan en la investigación del PEAM), así también la turbidez para el mes de junio fue 12 UNT, en la misma quebrada y el punto de referencia, esta variación está influenciada por la temporada de sol y poca turbulencia del agua.

CONCLUSIONES

Los coagulantes (cloruro férrico y sulfato de aluminio), utilizados para potabilizar el agua, actúan de distintas maneras para los parámetros de pH y turbidez, pues como el agua de la quebrada es muy alcalina este amortigua la variación pH, sin embargo, la turbidez baja de acuerdo al coagulante, a la velocidad y la dosis.

Para los meses de mayo y junio del 2017, en las muestras de agua de la quebrada Rumiyacu, los parámetros iniciales demuestran alcalinidad alta, y la turbidez y pH son variables y más altas para el mes de junio por las lluvias.

El tiempo y velocidad óptima encontrada para todos los ensayos realizados con sulfato de aluminio, es de 200 r.p.m. a 1.5 min; por los datos en cuanto de pH y turbidez.

El tiempo y velocidad óptima encontrada para todos los ensayos realizados con cloruro férrico, es de 300 r.p.m. a 1.5 min; por los datos en cuanto de pH y turbidez.

La dosis optima encontrada para las diferentes velocidades de sulfato de aluminio al 1% es de 1 mL de $Al_2(SO_4)_3$ /500 mL de agua de la quebrada, los cuales demuestran los mejores valores en términos de turbidez y pH.

La dosis optima encontrada para las diferentes velocidades de cloruro férrico al 1% es de 6 mL de $FeCl_3$ /500 mL de agua de la quebrada, los cuales demuestran los mejores valores en términos de turbidez y pH.

Se determinó que el pH no baja demasiado su valor en ninguno de los ensayos porque el agua de la quebrada Rumiyacu, demuestra en los parámetros iniciales tener una alcalinidad alta, este demuestra un contenido de OH^- , HCO_3^- .

El amortiguador del pH es la alcalinidad en gran proporción, que ayuda mucho con la acidez de los coagulantes.

La dosis óptima de coagulantes, se encuentra unida estrechamente con la velocidad y tiempo óptimo de la mezcla; entre los tres indicadores, el más influyente en los ensayos fue

la mezcla rápida determinada en términos de velocidad, pues hay más coincidencias con los resultados de acuerdo a la velocidad que de acuerdo a la dosis.

El sulfato de aluminio, utilizado para la muestras del mes de mayo 2017, ha demostrado ser un coagulante, mucho más ácido, pues baja más el pH del agua.

El cloruro férrico según ensayos, es más efectivo al tratar el color, y por lo tanto el hierro, el cual es precipitado con más facilidad por la acción de sus moléculas al precipitar.

En los ensayos con cloruro férrico a partir de las 150 r.p.m. a la 250 r.p.m., la turbidez empieza a subir, pues no hay una adecuada coagulación al bajar la velocidad para este compuesto que actúa mucho mejor como floculante.

El cloruro férrico no mejora con la turbidez, la turbidez es el parámetro más difícil de mejorar para el cloruro férrico, el cual no actúa con eficacia sobre este parámetro, siendo utilizado a este compuesto como un floculante.

Los dos coagulantes han demostrado ser eficientes, puesto que permiten regular los parámetros organolépticos según los Límites Máximos Permisibles de la ley peruana.

RECOMENDACIONES

Al evaluar el proceso de coagulación con los distintos compuestos, es muy importante que se tome mayor atención a la turbidez que es un parámetro que necesita de una adecuada dosis, tiempo y velocidad, mucho más susceptible que el pH

En una quebrada de menor alcalinidad, es necesario mejorar y bajar las concentraciones de los coagulantes, pues contienen ácidos los cuales bajarían el pH del agua, mucho más de lo esperado por límites Máximos Permisibles.

Utilizar los compuestos de forma adecuada, pues sus características propias demuestran que sería mejor utilizar el sulfato de aluminio como coagulante y el cloruro férrico como floculante, para ayudar con los parámetros en los cuales es menos eficaz el primero.

Para tratar con aguas con un alto contenido de color se debe tomar más en cuenta al cloruro férrico que demuestra actuar de mejor forma en la remoción de color, pues el sulfato de aluminio lo hace pero no es tan eficaz para tratar este parámetro.

Al realizar la descripción y valoración de la efectividad de los coagulantes, siempre debemos utilizar los reglamentos y estar acordes a las normas nacionales, pues solo así podremos determinar la calidad e inocuidad del agua.

Mejorar y tomar en cuenta a los otros parámetros que estipula la ley peruana es un reto, pero es necesario, pues muchas son interdependientes y están relacionadas entre sí.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AENOR 1997. “*Calidad del agua*”. Medio Ambiente - Tomo 1. Recopilación de Normas UNE. Madrid, 190-200.

ANDÍA Y. 2000. *Coagulación y floculación. Tratamiento de agua.* SEDAPAL. Lima. Perú.

APHA-AWWA-WEF 2005. “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.*” 21º Edición. New York.

AZABACHE Y. 2008. “*Influencia de la actividad antropogénica en la calidad de las aguas de la quebrada Mishquiyaquillo, Moyobamba 2008*”. Universidad Nacional de Trujillo – Perú 2008.

CASAS S. 2008. “*Aprovechamiento potencial del agua de lluvia caso sub-región Alto Mayo- San Martín.*”, Facultad de Ingeniería Agrícola escuela de post grado maestría de recursos hídricos – Perú 2008.

CASTRILLÓN D. 2012. “*Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo b en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de Villa Santana*” (tesis de pre grado), Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías Escuela de Química – Colombia.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. 1975. *Tratamiento de Agua para Consumo Humano*, Plantas de Filtración Rápida.

D.S. N° 031-2010-SA. REGLAMENTO DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. Ministerio de Salud. Dirección General de Salud Ambiental – Lima: Ministerio de Salud.

ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO MOYOBAMBA SRLTDA. 2005. *Diagnóstico Socioeconómico Ambiental de la microcuenca Rumiyacu-Mishquiyaqu y Almendra.* Moyobamba. Perú.

ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO MOYOBAMBA SRLTDA. 2004. *Diagnóstico participativo de las áreas de Conservación Municipal Rumiyacu, Mishquiyaqu, Almendra,* Moyobamba –Perú.

ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO MOYOBAMBA SRLTDA., COOPERACIÓN TÉCNICA ALEMANA AL DESARROLLO (GTZ), PROYECTO ESPECIAL ALTO MAYO. 2006. *Informe del Proyecto Implementación de Parcelas Demostrativas en Zonas críticas de las Microcuencas de Rumiyacu, Mishquiyacu y Almendra.* Moyobamba –Perú.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWP) CENTROAMÉRICA. 2013. Guía para la aplicación de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) a nivel municipal.

GONZALES C. 2015. “*Uso de polímeros en el tratamiento de agua para consumo humano*” Universidad nacional autónoma de México - Facultad de ingeniería división de ingenierías civil y geomática, México.

GUADALUPE M. 2012. “*Coagulación optimizada en el tratamiento de potabilización de agua: Su efecto sobre la remoción de entero parásitos*”. Universidad nacional del litoral - Facultad de bioquímica y ciencias biológica, Argentina.

HERNÁNDEZ R., FERNÁNDEZ C., Y BAPTISTA P. 2010. “*Metodología de la investigación*”. México.

MALDONADO A. R. 2018. *Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juninguillo – La Mina, Moyobamba – San Martín* (tesis para optar al título profesional de ingeniero sanitario. Universidad Nacional de San Martin. Perú.

MANGINI S. P., PRENDES H., AMSLER M. L. & HUESPE J. 2003. “*Importancia de la floculación en la sedimentación de la carga de lavado en ambientes del río Paraná*” – Argentina.

MINAM 2015. *Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación.* D. S. N° 015- 2015 MINAM. 3-4 Pág. Lima – Perú.

MINAM 2017. *Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación.* D. S. N° 004- 2017 MINAM. 3-4 Pág. Lima – Perú.

MURILLO, D., 2011. “Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada” Universidad tecnológica de Pereira-Escuela de tecnologías química industrial – Colombia.

PEAM, PROYECTO ESPECIAL DE TITULACIÓN DE TIERRAS Y CATASTRO RURAL-SAN MARTÍN. 2010. “Expediente Técnico sustentatorio para convertirse como Área de Conservación Municipal Rumiyacu-Mishquiyacu”. Moyobamba. Perú.

PEAM- PROYECTO ESPECIAL DE TITULACIÓN DE TIERRAS Y CATASTRO RURAL-SAN MARTÍN. (2005). “Experiencias sobre Manejo Ambiental en el Valle del Alto Mayo”. Gráfica y Ediciones Fénix. Tarapoto, Perú.

PEAM- PROYECTO ESPECIAL DE TITULACIÓN DE TIERRAS Y CATASTRO RURAL-SAN MARTÍN. 1998. “Experiencias sobre Manejo Ambiental en el Valle del Alto Mayo”. Gráfica y Ediciones Fénix. Tarapoto, Perú.

PLAN DE MEDIANO PLAZO 2013 – 2016. “Documento que resume la estrategia integral del PNSR para los próximos 4 años”, MVCS – Perú.

RESTREPO H. 2009. “Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable”. Universidad nacional de Colombia - sede Medellín - Facultad de Minas, Colombia.

RODIER J. 1990. “Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar”. Ediciones Omega, S. A., Barcelona – España.

TRUJILLO D. 2013. “Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano”: Programa de Ingeniería Ambiental. Universidad Católica de Manizales - Colombia.

TUOMAS R. 2008. “Potabilización con diferentes coagulantes de aluminio y hierro”. XXII Congreso de Centroamérica y Panamá de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Panamá 2008.

WORDPRESS 2016. *Coagulantes para tratamiento de agua.* Recuperado de: <http://www.tratamientodelagua.com.mx/>

ANEXOS

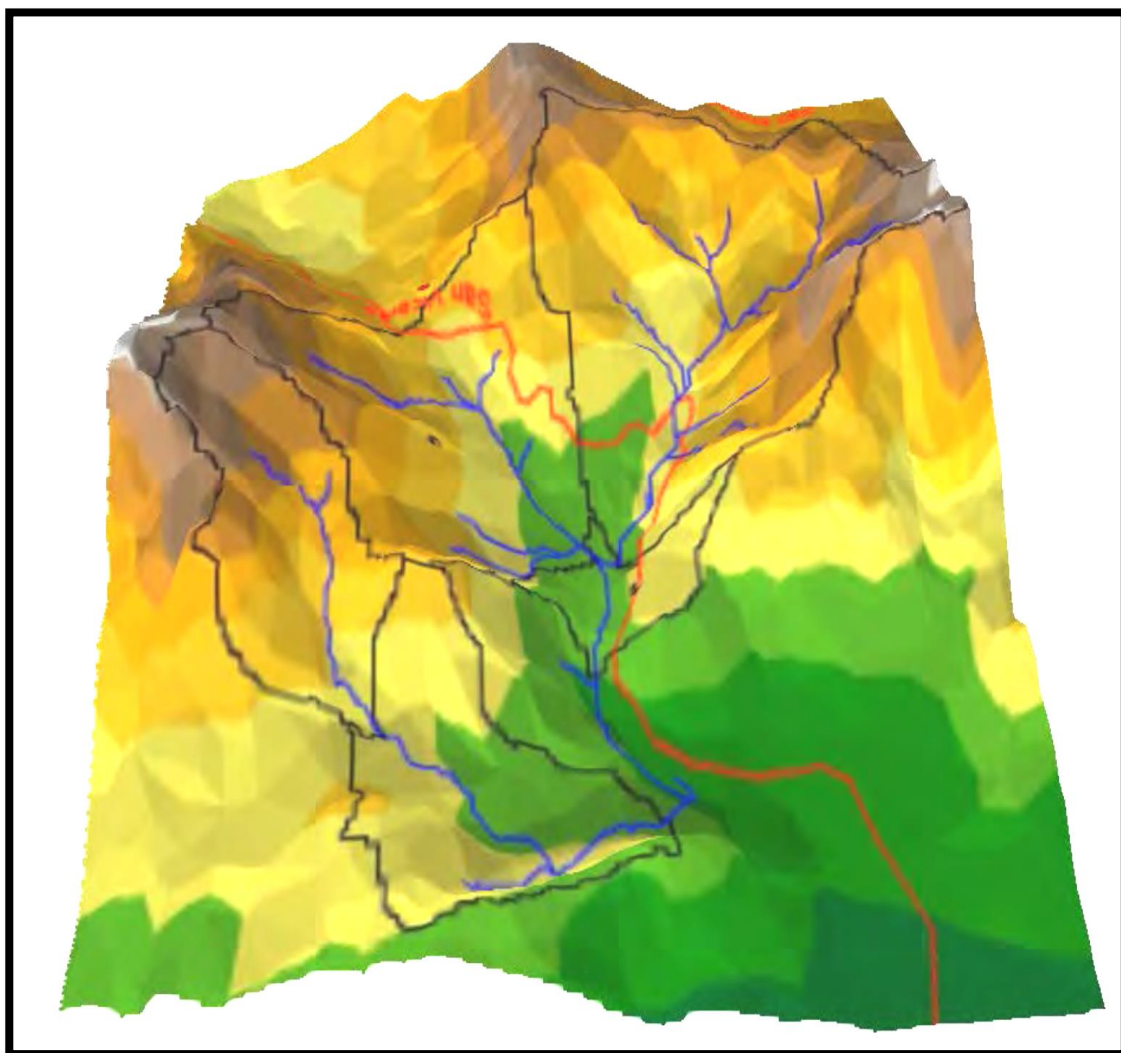
ANEXO 01: Relieve de la microcuenca Rumiyaçu

Imagen 1: Relieve de la microcuenca Rumiyaçu 2005. (Fuente: Zumaeta A., 2005)

ANEXO 02: Divisorias de aguas y afluentes de la microcuenca Rumiyaqu – Mishquiyacu.

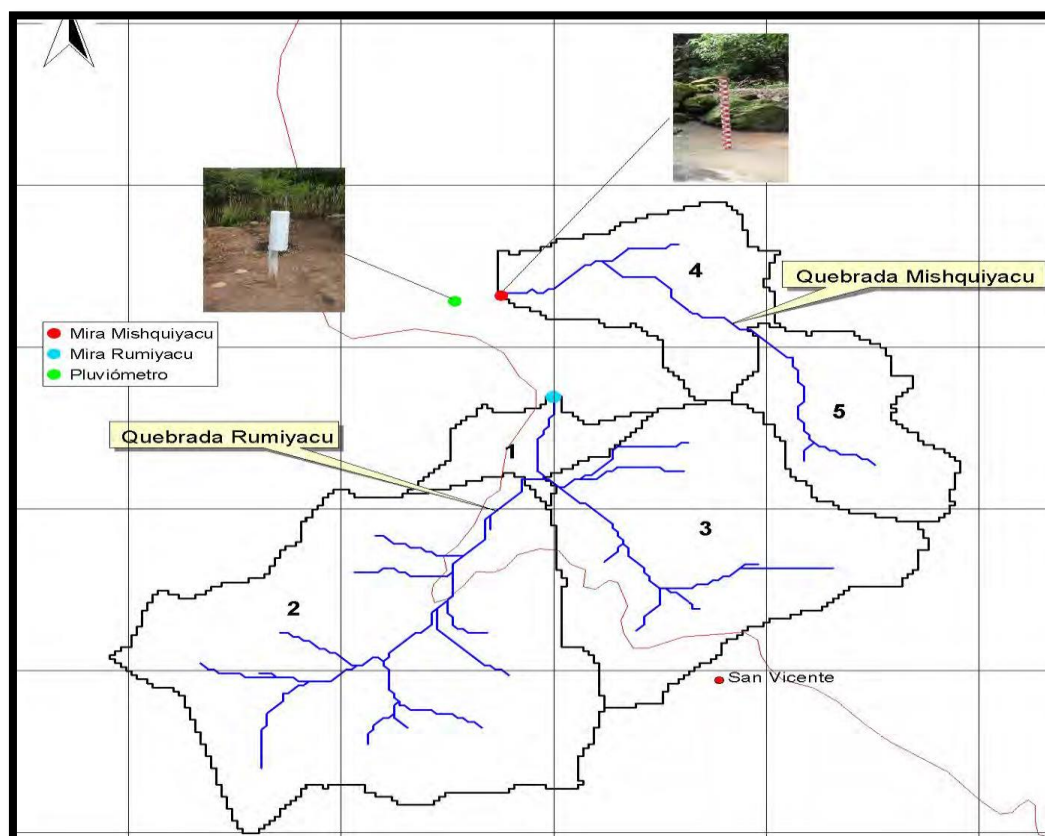


Imagen 2: Divisorias de aguas y afluentes de la microcuenca Rumiyaqu – Mishquiyacu. (Fuente: Mapa Base del Alto Mayo 2004).

ANEXO 03: Velocidades y tiempos de los ensayos

Tabla 18

Primer ensayo con sulfato de aluminio y cloruro férrico realizado al 1% a los tiempos y velocidades

29-May-17	TIEMPO	
Mezcla rápida	300 r.p.m.	1.5 min
Mezcla lenta	75 r.p.m.	15min
Mezcla Sedimentable		10 min

Tabla 19

Segundo ensayo con sulfato de aluminio y cloruro férrico realizado al 1% a los tiempos y velocidades

30-May-17	TIEMPO	
Mezcla rápida	250 r.p.m.	1.5 min
Mezcla lenta	63 r.p.m.	15min
Mezcla Sedimentable		10 min

Tabla 20.

Tercer ensayo con sulfato de aluminio realizado y cloruro férrico al 1% a los tiempos y velocidades

31-May-17	Tiempo	
Mezcla rápida	200 r.p.m.	1.5 min
Mezcla lenta	50 r.p.m.	15min
Mezcla Sedimentable		10 min

Tabla 21.

Cuarto ensayo con sulfato de aluminio y cloruro férrico realizado al 1% a los tiempos y velocidades

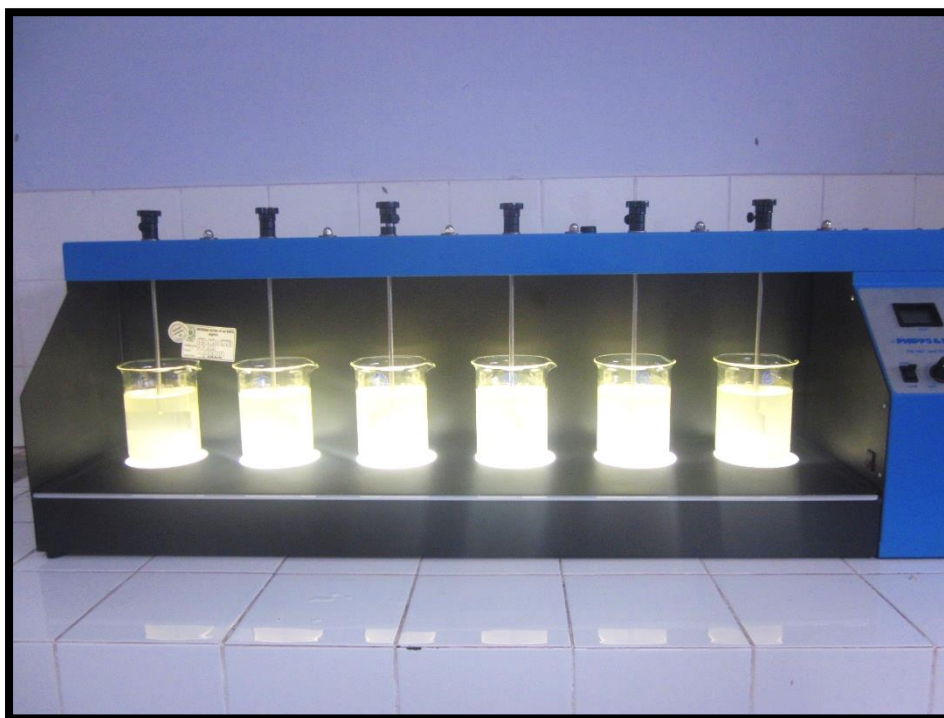
31-May-17	Tiempo	
Mezcla rápida	150 r.p.m.	1.5 min
Mezcla lenta	37.5 r.p.m.	15min
Mezcla Sedimentable		10 min

ANEXO 03: PANEL FOTOGRÁFICO

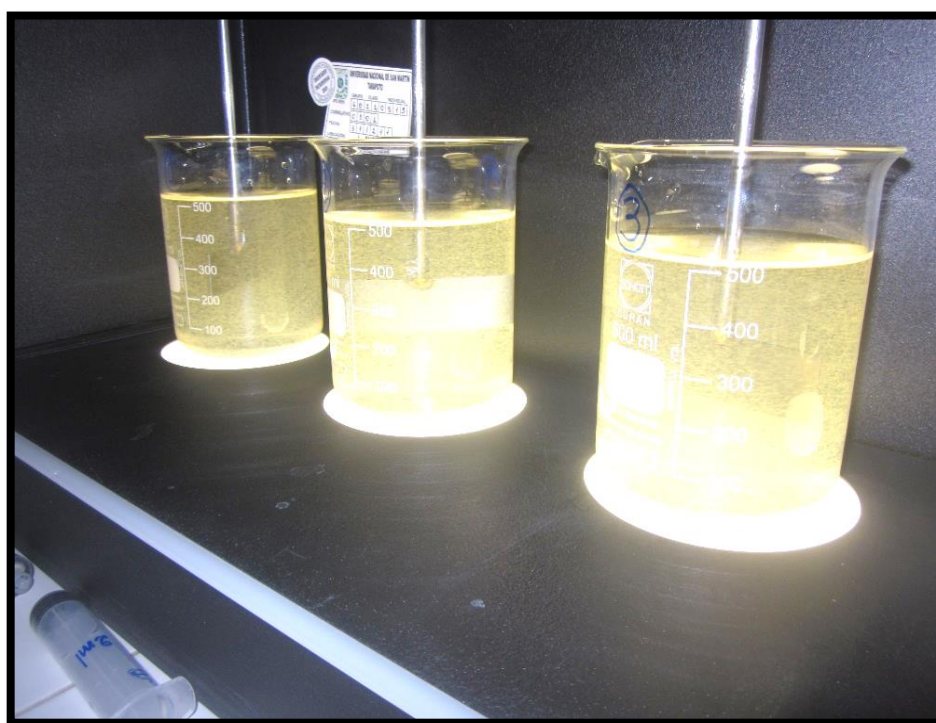
Fotografía 1: Recolección de muestras de agua de la Quebrada Rumiyaçu.



Fotografía 2: Rotulado de muestras recolectadas.



Fotografía 3: Prueba de jarras con coagulantes sulfato de aluminio y cloruro férrico.



Fotografía 4: Dosificación de coagulantes en la prueba de jarras.